

**Міністерство освіти і науки України
Житомирський державний університет імені Івана Франка**

О.К. Ткаченко М.В. Федьович

- **ПРАКТИКУМ ІЗ ШКІЛЬНОГО ФІЗИЧНОГО
ЕКСПЕРИМЕНТУ**

Частина II

Житомир 2004

Навчальне видання

**Ткаченко Олександр Кирилович
Федьович Микола Васильович**

ПРАКТИКУМ ІЗ ШКІЛЬНОГО ФІЗИЧНОГО ЕКСПЕРИМЕНТУ

Навчальний посібник

Надруковано із оригінал-макета авторів.

Підписано до друку 04.11.2004. Формат 60х90/16.

Ум. друк. арк. 6,3. Обл. вид. арк. 9,75.

Друк різнографічний. Зам. 250. Наклад 300.

Поліграфічний центр ЖДУ.
м. Житомир, вул. Велика Бердичівська, 40
електронна пошта (E-mail) : zu@zu.edu.ua

Лабораторна робота № 16

Основи молекулярно-кінетичної теорії

Мета: оволодіти методикою і технікою проведення демонстрацій з розділу „Основи молекулярно-кінетичної теорії”, виконати шкільні лабораторні роботи, передбачені програмою.

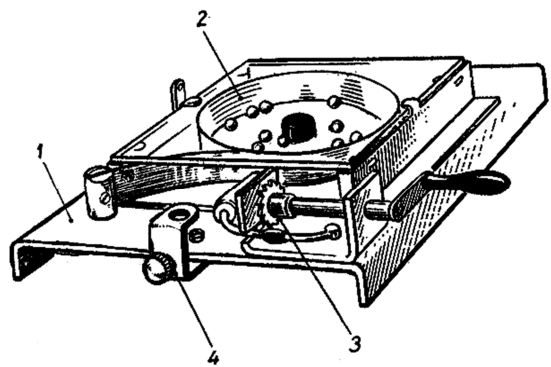
Завдання I. Опрацювати відповідний навчальний матеріал за шкільними і вузівськими підручниками.

Завдання II. Набути умінь і навичок у виконанні таких демонстрацій:

1. Механічна модель броунівського руху

Обладнання: прилад для демонстрації моделі броунівського руху, проекційний апарат із пристосуванням для горизонтального проектування, кінопроектор, кінофільм „Броунівський рух”.

Поширений шкільний прилад (мал. 1) встановлюють на проекційному апараті, підготовленому для горизонтального проектування. Над приладом закріплюють об'єктив із плоским дзеркалом або оборотною призмою.



Мал. 1

Проектують прилад, домагаючись різкості зображення сталевих кульок і гумової пробки. Пояснюють учням з чого складається прилад, який моделює броунівський рух, звертають увагу на головні деталі: кільце з плоскої пружини, ударний механізм, сталеві кульки, які моделюють молекули, невеличку гумову пробку – частинку з більшою масою, ніж кульки.

Прилад для демонстрації моделі

броунівського руху:

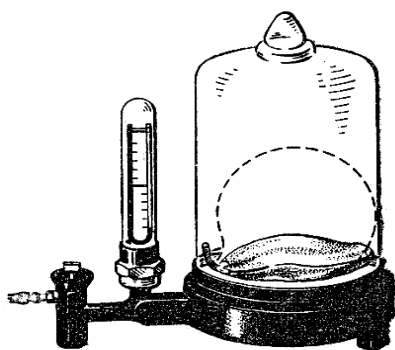
- 1 – металева рама;
- 2 – сталевая плоска пружина;
- 3 – ударний механізм із зубчаткою, ударником і ручкою;
- 4 – скоба для кріплення приладу на проекційному апараті.

Щоб пружина була добре видна на екрані, на її злегка натискають з боку ударника усередину, до центру кільця. Корисно також збудити пружину простим натисненням руки і показати, як відскакують від неї окремі кульки.

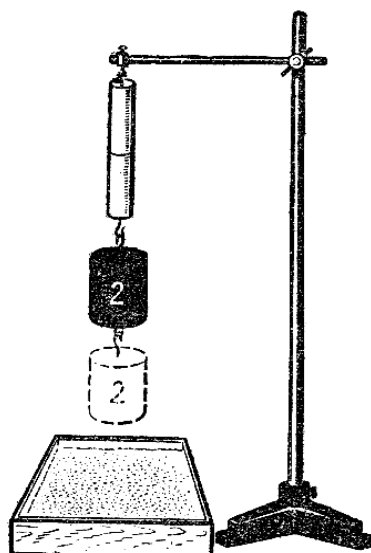
При обертанні ручки ударного механізму, чути характерний звук від ударника. Одночасно з цим на екрані видно, як під впливом швидкого хаотичного руху кульок, які імітують рух молекул, робить безладний рух пробка. Вона переміщається внаслідок одночасного бомбардування декількома кульками.

Верхнє скло приладу знімається, що дає можливість змінювати число кульок і брати пробку різноманітного розміру.

Після досліду треба показати учням кінофільм „Броунівський рух”, у якому це явище демонструється в такому вигляді, як воно спостерігається в мікроскопі. Перед кінофільмом варто коротко ознайомити учнів із приготуванням рідкого препарату для спостереження під мікроскопом.



Мал. 2



Мал. 3

2. Роздування гумової камери під ковпаком повітряного насоса

Обладнання: насос Комовського або ротаційний з електродвигуном, тарілка зі скляним ковпаком, камера від футбольного м'яча, затискач гвинтовий.

Злегка надувають гумову камеру повітрям, складають вдвічі відвідну трубку і щільно затискають її за допомогою гвинтового затискача. Потім кладуть камеру на тарілку під ковпак так, щоб вона не закривала собою отвір для виходу повітря. З'єднують тарілку з насосом і відкачують з-під ковпака повітря. При цьому камера починає поступово розширюватися, як показано на рисунку пунктиром.

Звертають увагу на те, що при відкачуванні повітря, число молекул, що припадає на одиницю об'єму в просторі під ковпаком, стає усе менше. Всередині ж камери число молекул залишається незмінним, тому кількість ударів на

стілки камери всередині буде більшим ніж зовні, і камера буде поступово розширюється.

Якщо у фізичному кабінеті не виявиться футбольної камери, то в цьому досліді можна з успіхом скористатися дитячою гумовою кулею або надувною іграшкою з тонкої гуми.

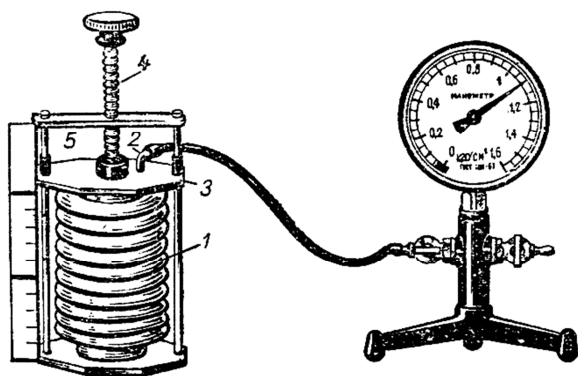
3. Зчеплення свинцевих циліндрів

Обладнання: штатив універсальний, два свинцевих циліндри, набір тягарців, ніж, кювета з піском.

Добре очищені з торця свинцеві циліндри прикладають один до другого. Рукою, наскільки вистачає сили, притискають їх і злегка повертають навколо повздовжньої осі.

Потім підвішують циліндри за гачок на заздалегідь підготовлений штатив. Під циліндри підставляють кювету з піском (у випадку падіння

пісок „пом'якшує” удар), а на вільний гачок підвішують тягарці (мал. 3), збільшуючи поступово навантаження по 1 кг. Звичайно зчеплення циліндрів витримує вантаж 5 кг. Успіх описаного досліді залежить винятково від правильної підготовки свинцевих циліндрів. Їхні торцеві поверхні повинні бути, насамперед, рівними: без виступів, заглиблень, подряпин, забоїн. Крім того, поверхні повинні



Мал. 4

бути цілком чистими, блискучими.

Для усунення нерівностей циліндри закріплюють по черзі в обіймі і спеціальним ножем поступово зачищають поверхню свинцю до блиску. Цим і закінчується підготовка

4. Залежність тиску газу від об'єму при сталій температурі

Обладнання: циліндр змінного об'єму, манометр демонстраційний, трубка гумова.

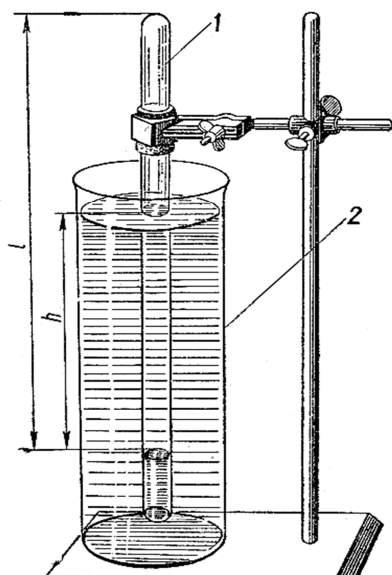
Перед дослідом окремо показують прилад для вивчення газових законів, зображений на мал. 4 разом із манометром. Звертають увагу на головну частину приладу – закритий гофрований циліндр 1 (сильфон), що з'єднується з зовнішнім повітрям тільки через невеличкий вигнутий патрубок 2, впаяний у металеву кришку 3. Сильфон за допомогою гвинта 4 можна розтягувати, причому об'єм повітря, замкнутого усередині приладу, змінюється пропорційно висоті.

Вимірюється об'єм газу в умовних одиницях по прикріпленій до приладу чіткій демонстраційній шкалі. Показчиком при таких вимірах служить у сильфоні край кришки 3. Початковий об'єм сильфона - п'ять умовних одиниць, а кінцевий – десять. Щоб не розтягувати сильфон поверх норми, на стійки надіто дві невеличкі трубки-обмежувачі 5.

Для проведення досліду сильфон з'єднують гумовою трубкою з манометром, як показано на рисунку. Відкривають обидва крани манометра і за допомогою гвинта розтягують або стискають циліндр так, щоб об'єм повітря в ньому став, наприклад, 7,5 ум.од. Потім закривають вільний кран манометра і приступають до демонстрації.

Декілька разів повільно змінюють об'єм повітря в приладі і спостерігають за показаннями манометра. Переконаються, що зі зменшенням (або зі збільшенням) об'єму, тиск збільшується (або зменшується) у стільки ж разів. Результати вимірювань записують на класній дошці в таблицю.

Отримані результати дають можливість зробити висновок, що при незмінній масі газу і постійній температурі добуток об'єму газу на тиск є величина постійна, тобто об'єм газу обернено пропорційний його тиску.



Мал. 5

Завдання III: Виконати лабораторні роботи, додержуючись методичних вимог, щодо оформлення їх письмового звіту:

1. Експериментальне вивчення закону Бойля-Маріотта

Мета: дослідити, як змінюватиметься об'єм тієї самої маси газу (при сталій температурі), якщо змінювати тиск, і встановити співвідношення між цими величинами.

Обладнання: висока скляна посудина з водою; скляна трубка закрита з одного кінця; лінійка з ціною поділки 1 мм; штатив для закріплення трубки; барометр (один на весь клас).

Опис приладу: На мал. 5 зображено прилад для експериментального вивчення закону Бойля-Маріотта. Прилад складається із скляної трубки 1 і високої скляної посудини 2 з водою. Один кінець трубки закритий корком або запаяний, а другий відкритий. Ця трубка відкритим кінцем занурена в посудину з водою. У трубці є закритий стовпчик повітря. Щоб уникнути випаровування води на її поверхню слід наливають трохи олії.

Теоретичні відомості

Якщо у воду, налиту у високу скляну посудину, опустити відкритим кінцем трубку, то повітря в ній перебуватиме під тиском:

$$p = (p_{атм.} + \rho gh), \quad (1)$$

де $p_{атм.}$ – атмосферний тиск у $Па$, h – різниця рівнів води в метрах у широкій посудині і в трубці. Об'єм повітря в трубці можна визначити за формулою:

$$V = Sl,$$

де l – довжина стовпчика повітря, S – площа поперечного перерізу трубки.

Оскільки площа поперечного перерізу трубки скрізь однакова, то числове значення l можна прийняти за значення V в умовних одиницях об'єму.

Із зміною глибини занурення трубки змінюється об'єм і тиск повітря в трубці.

Зв'язок між величинами p і V виражено формулою $pV=const$.

Порядок виконання роботи:

1. Скласти прилад як показано на мал. 5. Визначити і записати характеристики лінійки.

2. Занурити трубку на максимальну глибину, виміряти висоту стовпчика повітря в трубці l і різницю рівнів води в трубці й посудині h . Глибину занурення трубки встановити, пересуваючи затискач з муфтою вздовж стояка штатива.

Щоб температура повітря в трубці залишалася сталою під час проведення експерименту, вимірювання потрібно проводити через деякий час після зміни положення трубки, коли встановиться теплова рівновага між повітрям у трубці і навколишнім середовищем. Не потрібно братися руками за трубку, щоб не нагріти її.

3. Результати вимірювань $p_{атм.}$, h і l для різних глибин занурення трубки записати в таблицю.

№ n/n	$p_{атм.}, Па$	$h, м$	$l, м$	$p, Па$	$V, ум. од.$	PV

4. Зробити відповідні висновки.

Лабораторна робота № 17

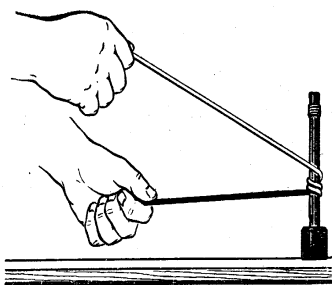
Теплові явища. Перший закон термодинаміки

Мета: оволодіти методикою і технікою постановки демонстрацій з теми “Теплові явища. Перший закон термодинаміки” на першому і другому ступенях навчання. Виконати шкільні лабораторні роботи, передбачені програмою.

Завдання I. Опрацювати відповідний навчальний матеріал за шкільними і вузівськими підручниками.

Завдання II. Набути умінь та навичок у виконанні таких демонстрацій:

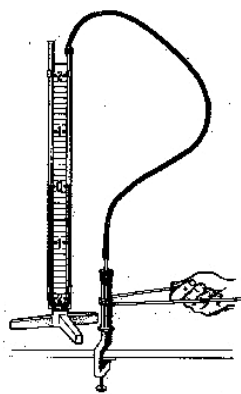
1. Нагрівання тіл при терті



Мал. 1

Обладнання: трубка для дослідів з парою або трубка Тіндаля, пробка, шнур, ефір або спирт, тринога, струбцина.

Трубу на стержні закріплюють в струбцині від відцентрової машини, яка закріплена на демонстраційному столі. В трубку наливають біля 1 см^3 сірчаного ефіру або машинного масла. Трубку закривають пробкою. Обгорнувши трубку 2-3 рази міцною мотузкою, натирають її. Від тертя трубка нагрівається, ефір закипає і його пари виштовхують пробку.



Мал. 2

2. Демонстрація зміни енергії за допомогою трубки Тіндаля і манометра

Трубка Тіндаля – коротка латунна трубка, відкрита з одного кінця. Складають установку як показано на мал. 2. Трубку обмотують шнуром і натирають її. При цьому спостерігають повільне опускання рідини в манометрі. Це зумовлюється зміною (збільшенням) внутрішньої енергії повітря,

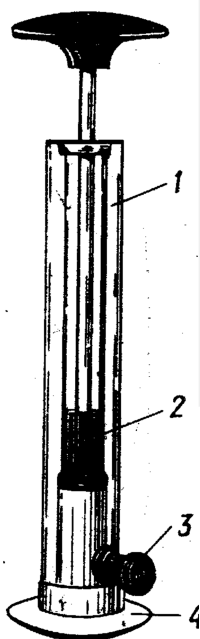
яке міститься в трубці.

3. Спостереження вибуху горючої суміші при різкому стисненні

Обладнання: повітряне огниво, ефір або машинне масло.

Повітряне огниво мал. 3 складається з циліндра 1, поршня 2, клапана 3, підставки 4.

На дно циліндра опускають кусочок вати, змоченої сірчанним ефіром або наливають декілька краплин машинного масла. В циліндр вставляють поршень і енергійно рухають його вниз, стискаючи тим самим повітря.



Мал. 3



Мал. 4



Мал. 5

При стиску повітря нагрівається настільки, що суміш парів з повітрям спалахує (мал. 4).

Демонстрація залежить від правильно вибраного відношення парів і повітря в циліндрі. Потрібно правильно визначити дозування ефіру. Демонстрація також залежить і від справності приладу.

4. Зміна температури повітря при адіабатичному розширенні.

Обладнання: скляний бутель місткістю 1-1,5 л, гумова пробка для бутля з пропущеною крізь неї широкою скляною трубкою, відрізок гумового шланга довжиною 25-30 см.

Скляний бутель ополіскують водою й дають решткам води стекти. Горловину його щільно закривають гумовою пробкою, а на кінець трубки, яка проходить через пробку, надівають відрізок широкого гумового шланга.

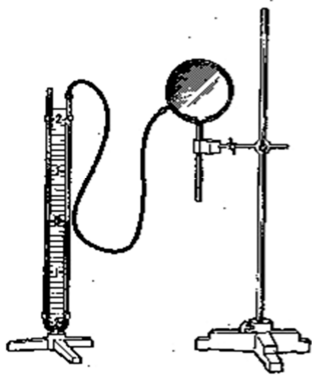
За кілька хвилин перед виконанням досліду в бутель вкидають палаючий сірник або пускають трохи цигаркового диму.

У бутель насосом Шінца накачують повітря до того часу поки корок не вилетить з нього. Спостерігають утворення всередині бутля густого туману (мал. 5)..

Утворення туману свідчить про охолодження повітря всередині бутля, яке при різкому розширенні, виконує роботу проти тиску зовнішнього повітря.

Бутель можна освітити проекційним ліхтарем і спостерігати утворення туману на екрані.

5. Нагрівання тіл випромінюванням



Мал. 6

Обладнання: теплоприймач, рідинний манометр.

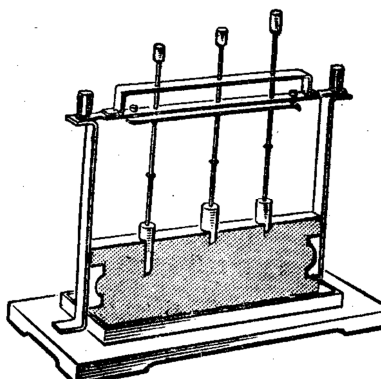
Теплоприймач – плоска тонкостінна металева коробка циліндричної форми діаметром приблизно 100 мм. Одна із плоских поверхонь світла, дзеркальна, друга – чорна, матова. На боковій поверхні коробки є ніпель для з'єднання її з демонстраційним рідинним манометром.

Будова приладу дозволяє використати його в якості індикатора підвищення температури тіла, а також в дослідах для порівняння променепоглинання темними і світлими поверхнями.

6. Різна питома теплоємність металів

Обладнання: прилад Тіндаля, електрична плитка.

Перед дослідом знімають зі стійки приладу Тіндаля обойму з циліндрами однакової маси із різних металів: латуні, сталі і алюмінію. Поміщають циліндрики у бляшану ванну, яка додається до приладу, в яку було налито кип'яток.



Мал. 7

Обойму з циліндрами виймають із кип'ятку і, зсунувши планку, скидають їх на парафінову пластинку. Циліндрики повинні стати точно посередині пластинки. Якщо який-небудь з циліндриків трохи зміститься в сторону, його потрібно швидко поправити (мал. 7).

Далі слідкують за тим, як циліндрики, розплавляючи парафін, поступово заглиблюються в пластинку і зупиняються, коли їх температура буде трохи нижча точки плавлення парафіну. Різна глибина свідчить про різну кількість теплоти, яку віддав кожний циліндр при остиганні на однакове число градусів, тобто неоднакової теплоємності. Беручи до уваги, що маси у них однакові, можна зробити висновок, що питома теплоємність різних металів, із яких виготовлені циліндри, неоднакова.

Після проведення досліду парафінову пластинку звільняють від циліндриків, вкладають у форму і підігрівають, поки парафін не розплавиться. Потім парафіну дають захолонути.

Завдання III: Виконати лабораторні роботи, додержуючись методичних вимог, щодо оформлення їх письмового звіту:

1. Визначення питомої теплоємності твердого тіла

Обладнання: терези, гирьки, термометр, калориметр, металевий циліндр, чайник, фільтрувальний папір.

Порядок виконання роботи:

1. Зважують внутрішню посудину калориметра, наливають в неї води трохи менше половини і знову зважують, щоб визначити масу води.

2. З чайника з киплячою водою дістають крючком металевий циліндр. Швидко переносять його в калориметр, злегка розмішують термометром воду в калориметрі і слідкують за підвищенням її температури. Коли температура досягне максимуму і перестане підвищуватись, записують її величину, виймають циліндр, витирають фільтрувальним папером, зважують.

3. З рівняння теплового балансу:

$$c_1 m_1 (\theta - t_1) + c_2 m_2 (\theta - t_1) = c m (t_2 - \theta), \text{ де } \theta - \text{загальна температура.}$$

Знаходять: $c = \frac{(\theta - t_1)(c_1 m_1 + c_2 m_2)}{m(t_2 - \theta)}$, де m_1 – маса алюмінієвої посудини;

m_2 – маса води;

t_1 – початкова температура води;

t_2 – температура циліндра;

m – маса циліндра.

4. Результати вимірювань занести в таблицю:

Маса води $m_2, \text{г}$	Початкова температура води $t_1, ^\circ\text{C}$	Маса циліндра $m_2, \text{г}$	Початкова температура циліндра $t_2, ^\circ\text{C}$	Загальна температура циліндра $\theta, ^\circ\text{C}$	Питома теплоємність $c, \frac{\text{Дж}}{\text{кг} \cdot \text{К}}$

5. Зробити висновок.

2. Спостереження за процесом плавлення кристалічного тіла

Обладнання: термометр, годинник з секундною стрілкою, штатив з муфтами, лапкою і кільцем, електрична плитка, конічна колба, пробірка з нафталіном.

Порядок виконання роботи:

1. Завчасно вставити термометр в нафталін.

2. Всі пробірки з нафталіном вставити в стійку і помістити в металеву кружку з киплячою водою.

3. Коли нафталін розплавиться, стійку з пробірками виймають і замість гарячої води наливають холодної води стільки, щоб пробірки занурилися в неї приблизно на 1 см.

4. В рідку частину нафталіну занурюють термометр, який залишається в пробірках до повного затвердіння нафталіну.

5. Пробірку з нафталіном необхідно занурити в воду до рівня нафталіну, причому вона не повинна торкатися колби.

6. Поставивши під колбу гарячу електричну плитку, починають вести спостереження. Один із студентів слідкує за показами термометра і повідомляє товаришу, коли стовпчик ртуті в термометрі з'явиться над лапкою штативу. Інший після цього слідкує за секундною стрілкою годинника і вголос відраховує час через кожні півхвилини.

7. В момент відліку записати покази термометра у вигляді таблиці:

<i>Час, хв.</i>	<i>Температура, °C</i>	<i>Час, хв.</i>	<i>Температура, °C</i>

8. Коли вода закипить, приймають колбу і спостерігають за температурою при затвердінні нафталіну. З моменту початку плавлення і до затвердіння необхідно злегка помішувати термометром нафталін для кращого вирівнювання температури.

9. По даних таблиці побудувати графік залежності температури від часу.

10. Зробити відповідні висновки.

Лабораторна робота № 18

Основні перетворення рідин і газів

Мета: оволодіти методикою і технікою постановки демонстрацій з теми “Основні перетворення рідин і газів” на I-у і II-у ступені навчання. Виконати шкільні лабораторні роботи, передбачені програмою.

Завдання I. Опрацювати відповідний навчальний матеріал за шкільними і вузівськими підручниками.

Завдання II. Набути умінь і навичок у виконанні таких демонстрацій:

1. Кипіння води при зниженому тиску

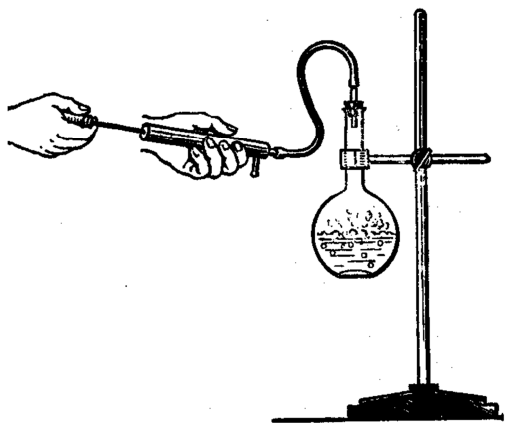
Обладнання: насос повітряний ручний з гумовою трубкою, штатив універсальний з муфтою і лапкою, нагрівач, круглодонна колба 250-300 мл; кювета для роботи з рідинами, стакан хімічний.

Цей дослід показують в 2-х варіантах: із застосуванням вакуумного насоса, коли безпосередньо простежується зміна тиску і без насоса, шляхом охолодження колби, коли про причини зміни доводиться здогадуватися, знаючи основні властивості насичуючих парів води:

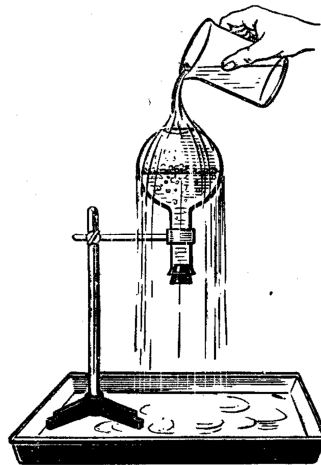
а) в круглодонній колбі, зажатій в лапці штативу і налитій до половини водою, нагрівають воду до кипіння. Потім нагрівач прибирають, а колбу щільно закривають корком, з'єднаним гумовою трубкою з насосом.(мал. 1 а).

Через 1-2 хв., коли вода охолоне, ручним насосом відкачують повітря і пари води. Тиск у колбі поступово зменшується, і вода бурхливо закипає. Якщо припинити відкачування, то кипіння припиняється. Таким прийомом протягом 5 хв. можна змусити воду кипіти декілька раз через рівні проміжки часу. Досвід виразно показує, що із зменшенням тиску вода кипить при пониженій температурі.

б) в круглодонну колбу, як у першому варіанті, наливають до



Мал. 1 а



Мал. 1 б

половини воду і нагрівають її до кипіння. Потім, не знімаючи з нагрівача, швидко закривають колбу гумовою трубкою, перевертають шийкою вниз і затискають в лапці штатива. Під штатив із колбою підставляють кювету для роботи з рідинами (лист).

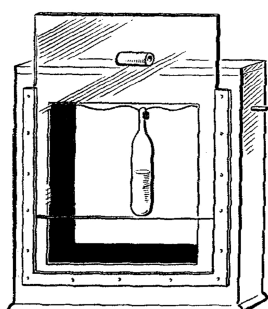
Через 1-2 хв., коли вода дещо охолоне, колбу штучно охолоджують: поливають її холодною водою (мал. 1 б), накривають зверху мокрым рушником або кладуть на неї сніг. При цьому тиск насичуючих парів в колбі знижується і вода бурхливо закипає. Залишають колбу остигати ще 3-5 хв., і знову повторюють дослід. Таким чином, можна заставити воду кипіти навіть при кімнатній температурі.

2. Критичний стан ефіру

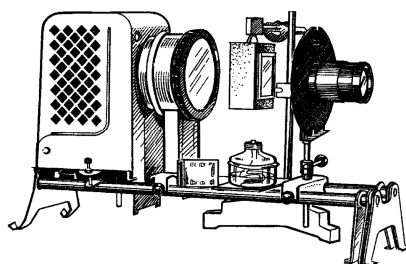
Обладнання: прилад Авенаріуса, проекційний апарат із оборотною призмою, спиртівка або електроплитка.

Будова приладу Авенаріуса для демонстрації критичного стану ефіру зрозуміло із мал. 2. Основною частиною приладу служить ампула з такою кількістю ефіру, щоб при нагріванні до критичної температури тиск в ній також був критичний.

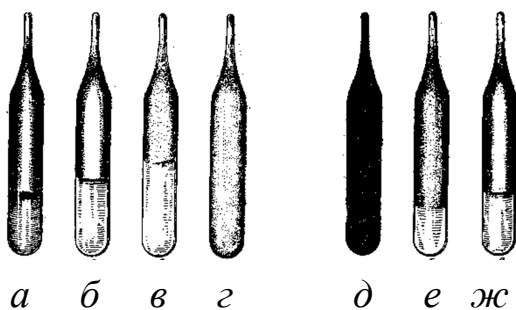
Перед дослідом прилад закріплюють в універсальному штативі і розміщують між конденсором і об'єктивом проекційного апарату (мал. 3).



Мал. 2



Мал. 3



Мал. 4

За допомогою об'єктива з оборотною призмою проєктують ампулу на екран так щоб було чітко видно меніск ефіру, підігрівають і ведуть спостереження.

При початковій (кімнатній температурі) межа між рідким ефіром і його насиченою парою різко окреслена (мал. 4 а). Меніск угнутий, густина рідкого ефіру набагато

більша, ніж його пари.

При нагріванні густина рідкого ефіру зменшується, меніск стає плоским і трохи піднімається. Одночасно з цим частина ампули, де

знаходиться ефір, внаслідок зменшення густини світліє і стає прозорою, як і верхня частина (мал. 4 б, в).

Ампула, заповнена такою кількістю ефіру, щоб внаслідок нагрівання до критичної температури ($193,8^{\circ}\text{C}$) він переходив у критичний стан. Критичний тиск ефіру близько 36 атм. (3500 кПа). З наближенням до критичного стану зображення меніска стає розмитим, він темнішає, а потім зовсім зникає (мал. 4 г). Це і є момент переходу ефіру через критичний стан. При цьому поверхневий натяг дорівнює нулю, а густина рідкого ефіру дорівнює густині його пари.

Після того припиняють нагрівання і спостерігають зворотній процес. Дають можливість приладу поступово охолоджуватись і звертають увагу на те, як в ампулі з'являються і стають добре помітними багато численні; швидкозмінні – результат наявності ділянок речовини різної густини. В цей час температура близька до критичної і потрібно бути особливо уважним, щоб не пропустити момент переходу.

При критичній температурі ефір стає перенасиченою парою і, як тільки в ньому появляються центри конденсації, вся ампула заповнюється туманом (мал. 4 д). Потім вона швидко становиться прозорою і на екрані з'являється утворена з різко вираженим меніском (мал. 4 е, ж). На цьому дослід закінчується.

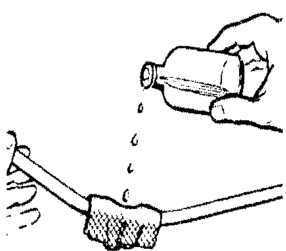
3. Охолодження рідини під час випаровування

Обладнання: термометр, штатив, пробірка, скляні і гумові трубки, кільце гумове, трохи зігнута скляна трубка довжиною $25\text{--}30\text{ см}$, флакончик із сірчаним ефіром, вода, піпетка, насос або гумова груша, клаптик марлі, нитки.

1. Відмічають покази рідинного термометра. Обгортають його балон шаром марлі і прив'язують нитками. Змочують марлю ефіром, спиртом чи водою. Обдувають балон листом картону, термометр показує зниження температури. Цей же термометр занурюють у рідину, виймають і махають у повітрі або проводять дослід, як і раніше. Помічають зниження температури.

2. На місце згину скляної трубки вносять піпеткою кілька краплин води (мал. 5). Обгортають трубку клаптиками марлі і змочують ефіром.

Обдувають трубку повітрям за допомогою насоса і через $4\text{--}5\text{ хв.}$ знімають марлю і розбивають трубку. При цьому видно, що вода в трубці замерзла.



Мал. 5

3. На пробірку надівають гумове кільце так, щоб утворилась лійкоподібна ямка в яку наливають трохи холодної води, а в пробірку на $0,5$ об'єму ефіру. Продувають повітрям. Ефір швидко випаровується, а вода при цьому замерзає.

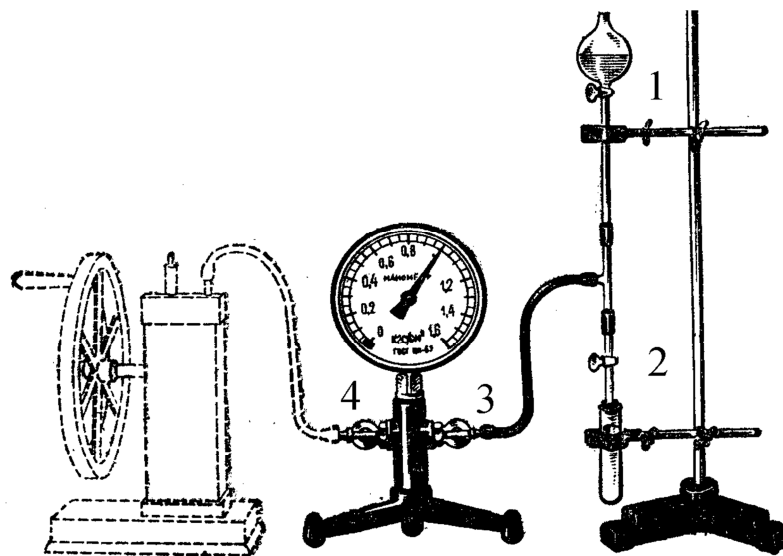
4. Властивості насиченої і ненасиченої пари

Обладнання: прилад для вивчення насичених парів, демонстраційний манометр, насос Комовського, дві посудини з гарячою і холодною водою, ефір, штатив з довгим стояком, дві лапки, дві муфти. На універсальному штативі збирають прилад (мал. 6) лійку з краном 1, скляний кран 2 з гумовою пробкою, пробірку і трійник. Щоб переконатись в герметичності приладу, з'єднують його через демонстраційний манометр з насосом, так як показано на мал. 6, закривають кран 1 і викачують повітря.

Коли стрілка манометра встановиться майже на нулі шкали, кран 4 закривають, припиняють відкачування і протягом декількох хвилин спостерігають за манометром. Якщо його покази не змінюються (установка підготовлена нормально) переходять до демонстрації дослідів.

а) Залежність тиску насиченої пари від температури

Закривають кран 2 (1 і 4 закриті) і наливають у лійку ефір. Швидким поворотом крана 1 на 180° вводять в трубку приладу трохи ефіру. Звертають увагу на те, що ефір повністю випарувався і манометр показує деякий тиск ненасичених парів.



Мал. 6

Таким же чином вводять ще декілька порцій ефіру, поки в трубці над краном 2 не появиться рідина і пари стануть насиченими. Підкреслюють, що тепер знову введена порція ефіру ніяк не змінюють покази манометра: тиск насичених парів при незмінній температурі є величина стала.

б) Незалежність тиску насиченої пари від її об'єму

Відкривають кран 2 і випускають ефір у пробірку. Звертають увагу, що при цьому об'єм насичених парів значно збільшився, але покази

манометра не змінилися. Вони залишаються незмінними і після того, якщо зменшувати об'єм доливанням ефіру. Роблять висновок, що тиск насичених парів не залежить від об'єму.

в) Залежність тиску насичених парів від температури

Підставляють під пробірку стакан з холодною водою. Покази манометра поступово зменшуються. Потім під пробірку підставляють стакан з теплою водою (30° – 35°) і спостерігають швидке підвищення тиску. Таким чином, переконуються в залежності тиску насичених від температури.

г) Залежність тиску насичених парів від роду речовини

Для цього бажано мати другий такий самий прилад і замість ефіру взяти бензин. Виявляється, що при однаковій температурі тиск насичених парів бензину значно менший ніж тиск насичених парів ефіру.

Успіх описаних дослідів залежить від герметичності установки.

Примітка. Експеримент записаний на комп'ютер.

Завдання III. Виконати лабораторну роботу, додержуючись методичних вимог щодо оформлення її письмового звіту:

Вимірювання відносної вологості повітря

Мета: навчитися вимірювати відносну вологість, використовуючи гігрометр і психрометр, виміряти абсолютну і відносну вологість повітря.

Обладнання: гігрометр, гумовий насос-груша, скляний екран, посудина з сірчанам ефіром; термометр з ціною поділки $0,1^{\circ}$; психрометр.

Теоретичні відомості

Тиск водяної пари, яка є в повітрі при даній температурі, називається абсолютною вологістю і вимірюється в одиницях тиску.

Примітка. Оскільки при певній температурі тиск пари пропорційний її густині, то абсолютну вологість можна виражати числом грамів водяної пари в 1 м^3 повітря.

Величина, яка виражається відношенням парціального тиску пари p , що є в повітрі, до тиску p_0 насиченої пари при цій же температурі називається відотною вологістю. Звичайно відносну вологість виражають у процентах; формула відносної вологості має вигляд:

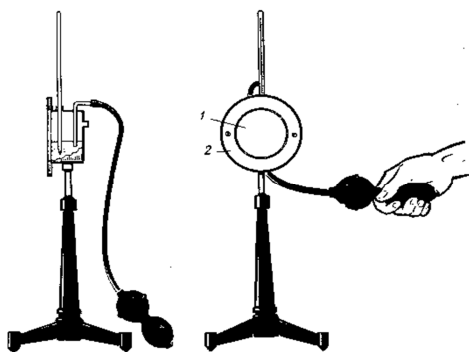
$$\varphi = \frac{p}{p_0} \times 100\%.$$

Значення p_0 для кожної температури беруть з таблиць, тому визначення відносної вологості зводиться до знаходження абсолютної вологості.

Ненасичену пару можна перевести в насичену зниженням температури. Ознакою насичення пари є її конденсація – утворення крапельок роси. Температура, при якій водяна пара стає насиченою, називається точкою роси. Знаючи точку роси, визначають тиск водяної пари в повітрі (за таблицею залежності тиску насиченої пари від температури).

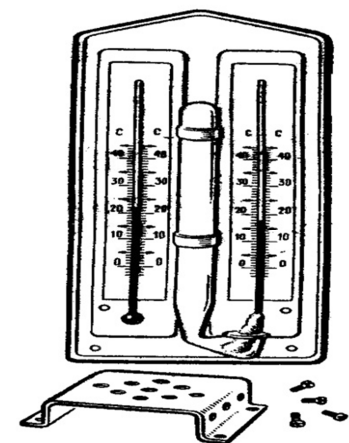
Опис приладів

I. Прилад для обчислення точки роси називається конденсаційний гігрометром (мал. 7). Він являє собою камеру, закріплену на штативі. Камера має чотири отвори: один для термометра і два для продування повітря через камеру. Передня стінка камери дзеркальна причому навколо неї встановлена дзеркальна кільцева рамка з того самого металу. Камеру наполовину заповнюють ефіром і щоб прискорити його випаровування гумовою грушею продувають повітря. При цьому температура гігрометра знижується, а водяна пара, що є в повітрі біля дзеркальної стінки камери охолоджується, стає насиченою. Появу роси спостерігають, порівнюючи поверхню охолодженої камери з дзеркальною поверхнею кільця, яка під час досліду не змінюється. В цей момент вимірюють температуру.

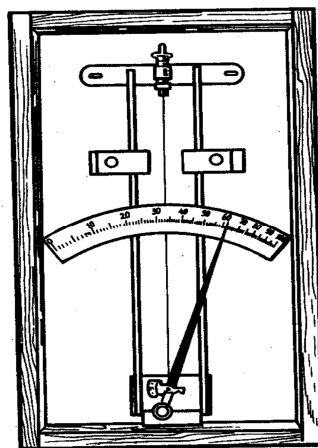


Мал. 7

II. Психрометр (мал. 8) складається з двох однакових термометрів. Резервуар одного з них обмотаний марлею або батистом, зануреним у воду. Якщо водяна пара в повітрі ненасичена, то внаслідок випаровування води покази мокрого термометра будуть нижчі, ніж сухого. Різниця між показом термометрів тим більша, чим менша вологість повітря, відносну вологість повітря можна знайти за



Мал. 8



Мал. 9

III. Волосяним гігрометром (мал. 9) безпосередньо вимірюють відносну вологість у відсотках.

Волосяний гігрометр встановлюють і перевіряють на основі визначення відносної вологості за допомогою психрометра. Стрілку гігрометра на відповідну поділку шкали встановлюють за допомогою регулювального гвинта.

Порядок виконання роботи:

I. Вимірювання відносної вологості повітря за допомогою психрометра

1. Ознайомтесь з будовою психрометра.
2. Визначте покази його термометрів і обчисліть різницю температур.
3. З психрометричної таблиці визначити відносну вологість повітря.

II. Вимірювання відносної вологості повітря за допомогою конденсаційного гігрометра

1. Ознайомтесь з будовою конденсаційного гігрометра. Протріть м'якою тканиною дзеркальні стінку і кільце гігрометра до повного блиску.
2. Виміряйте температуру повітря в кімнаті.
3. Налийте в камеру гігрометра ефіру або спирту, вставте в неї термометр і приєднайте гумову грушу.
4. Установіть прилад так, щоб дзеркальна поверхня буде під кутом 30-40° до напрямку прямого зору. Продувайте повітря крізь ефір (спирт) і уважно стежте за дзеркальною поверхнею стінки камери, порівнюючи її з поверхнею кільця.
5. У момент появи роси, припиніть продування повітря, запишіть покази термометра і продовжуйте спостереження, щоб записати показ термометра в момент повного зникнення роси.
6. Спостереження повторіть декілька разів. Результати досліду запишіть у таблицю:

Температура		
навколишнього повітря	появи роси	зникнення роси

7. Середнє значення записаних температур прийміть за вірогідну точку роси і, знаючи температуру навколишнього повітря, обчисліть відносну вологість, скориставшись таблицею залежності тиску насиченої водяної пари від температури.

III. Вимірювання відносної вологості повітря волосяним гігрометром

1. Ознайомтесь з будовою і принципом роботи волосяного гігрометра. Порівняйте його значення з результатами попередніх дослідів.
2. Подихайте на волосину гігрометра і спостерігайте за поведінням стрілки.

Обробка результатів:

1. Обчислити максимальну абсолютну похибку вимірювання точки роси.
2. За результатами вимірювань і графіком залежності тиску насиченої пари від температури знайти значення абсолютної вологості і тиск насиченої водяної пари при кімнатній температурі.
3. Обчислити відносну вологість повітря в кімнаті.

Лабораторна робота № 19

Властивості рідин і твердих тіл

Мета: оволодіти методикою і технікою проведення демонстрацій з теми „Властивості рідин і твердих тіл”. Виконати шкільні лабораторні роботи, передбачені програмою.

Завдання I. Опрацювати відповідний навчальний матеріал за шкільними та вузівськими підручниками.

Завдання II. Набути умінь та навичок у виконанні таких демонстрацій.

1. Рідина в капілярних трубках

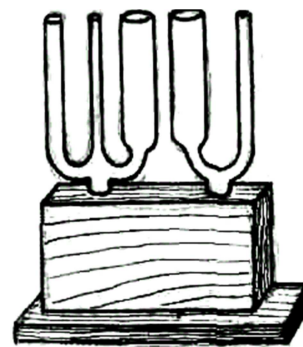
Обладнання: набір капілярних трубок, універсальний проекційний апарат, забарвлена вода, хімічний стакан, піпетка.

Для демонстрування явища капілярності випускається спеціальний набір капілярних трубок, що складається з двох самостійних приладів – сполучених посудин. Один із них з однією капілярною трубкою діаметром 2...2,5 мм, а другий—з двома капілярними трубками діаметром 1...1,5 мм і 2...2,5 мм. Діаметр широкої трубки у кожному приладі 6...8 мм. Висота трубок – близько 5 см. Вони призначені для проектування на екран.

Прилад з двома капілярами заповнюється рідиною, що змочує скло (вода). Прилад: з одним капіляром призначений для заповнення його рідиною, яка не змочує скла (ртуть). Та оскільки ртуть заборонено використовувати в шкільних дослідах, цей прилад всередині необхідно покрити тонким шаром парафіну і заповнювати також водою. Для цього прилад нагрівають на спиртівці і в широку трубку наливають розплавлений парафін, який відразу ж виливають через капіляр. Потім прилад повертають отворами вниз, щоб стік зайвий парафін.

Під час підготовки до проведення досліду в широку трубку приладу з двома капілярами піпеткою накачують стільки забарвленої води, щоб її рівень у найтоншому капілярі не сягав верхніх країв. Широку трубку приладу з одним капіляром заповнюють забарвленою водою наполовину. Підставку з капілярами встановлюють на дерев'яному столику, закріпленому в рейтері: оптичної лави універсального проекційного апарата біля самого конденсора, і за допомогою об'єктива установку проєктують на екран. У досліді бажано використати об'єктив з оборотною призмою.

Під час проведення дослідів з капілярами воду треба забарвлювати речовинами, які не фарбують



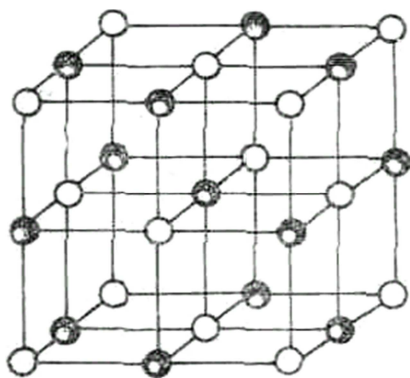
Мал. 1

скла: фуксином, метиленовою синькою, чорнилом для авторучки.

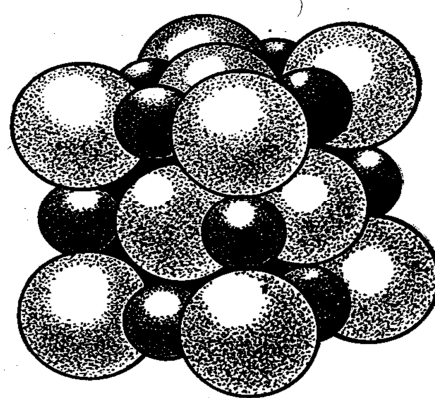
2. Демонстрування моделі кристалічної решітки кристалів

Обладнання: модель кристалічної решітки кухонної солі.

Промисловість випускає модель, що складається з 27 дерев'яних кульок діаметром 25 мм з отворами (14 кульок пофарбовані в червоний колір, а 13 – у чорний) і 54 пофарбованих металевих стержнів діаметром 3 мм, довжиною 100 мм. Модель кристалічної решітки складають так, щоб утворився куб, причому у вершинах кутів куба і в точках перетину діагоналей його граней поміщають червоні кульки, які зображують іони хлору (мал. 3), а між ними закріплюють чорні кульки, які зображують іони натрію.



Мал. 2



Мал. 2 а

Працюючи з моделями кристалічних решіток, слід пам'ятати, що їх призначення – наочно зображувати просторове розміщення частинок у решітці. Така будова моделей допомагає з'ясувати просторове розміщення, періодичність, ближній і дальній порядок частинок. Але співвідношення між розмірами кульок і відстанями між ними не відповідають (і не можуть відповідати) дійсності, а кульки не можуть бути моделями частинок. Ядра атомів у 10^5 разів менші за відстані між ядрами. Отже, якщо додержувати цих пропорцій і вибрати розміри кульок, які б добре видно учням у класі, то відстані між кульками треба було б узяти такі, які дорівнюють кілька кілометрів. Щоб кульки могли бути моделями частинок, із яких складається кристал, вони повинні не розділятися проміжками, а, навпаки, доторкуватись одна до одної і навіть частково перекриватись, тобто взаємно проникати одна в одну.

Отже, щоб в учнів не склалось уявлення, що кристалічна решітка (і тверде тіло) так само пориста, як і її модель, треба одночасно зі згаданою моделлю показати модель із щільною упаковкою частинок (мал. 3 а). Радіус кульок, що імітують у цій моделі іони хлору, удвічі більший за радіус тих, що імітують іони натрію. Модель виготовляють із пластиліну.

Завдання III: Виконати лабораторні роботи, додержуючись методичних вимог щодо оформлення їх письмового звіту:

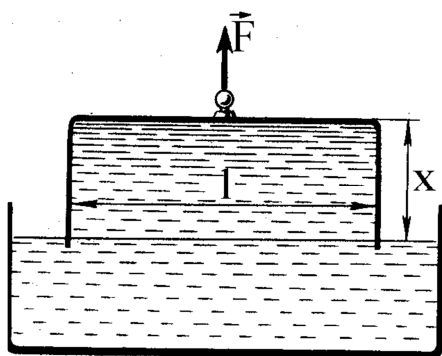
1. Визначити коефіцієнт поверхневого натягу води

а) Визначити коефіцієнт поверхневого натягу води методом відривання петлі

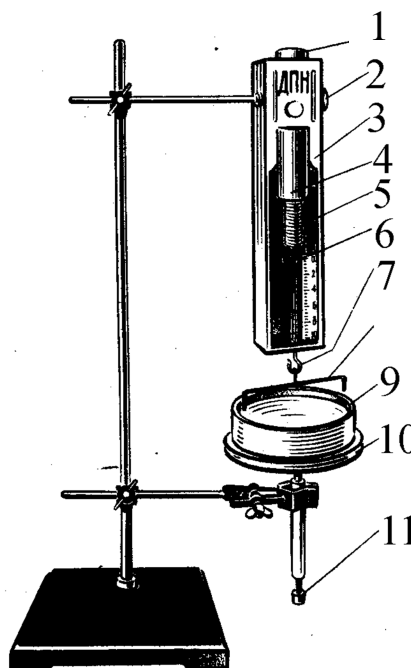
Обладнання: динамометр типу ДПН з прилад, штатив для фронтальних робіт, вода дистильована, лінійка вимірювання 30 см із міліметровими поділками.

Порядок виконання роботи:

Вільна поверхня рідини в стані рівноваги прагне до мінімуму, рідина ніби стягується пружиною поверхневою плівкою, щоб зменшити свою площу. З утворенням тонкої плівки шириною l (мал. 3) вздовж межі поверхні рідини діє сила поверхневого натягу F , яка дорівнює:



Мал. 3



Мал. 4

$$F = 2\sigma l, \quad (1)$$

де σ – поверхневий натяг; множник 2 взято тому, що плівка має дві поверхні. Звідси:

$$\sigma = \frac{F}{2l} \quad (2)$$

Модуль сили поверхневого натягу F вимірюють чутливим динамометром типу ДПН, а ширину плівки, яка дорівнює ширині дрітної петлі, – вимірюють лінійкою.

Динамометр типу ДПН (мал. 4) складається з корпусу 3, всередині якого розміщена вимірвальна пружина 5, що має прямий кінець з відкритим гачком 7. Гачок призначений для з'єднання петлі 8 з вимірвальною пружиною динамометра.

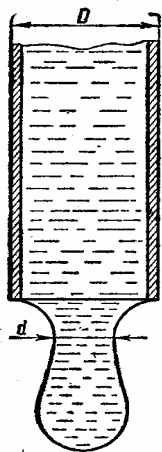
Стрілка 6 призначена для відлічування показів по шкалі. Досліджувану рідину наливають у скляну чашку 9.

Для вимірювання поверхневого натягу дротяну петлю повністю занурюють у рідину, а потім її повільно виймають. При цьому на петлі утворюється плівка. Коли сила пружності пружини динамометра за модулем дорівнюватиме поверхневому натягу F , плівка розривається.

Порядок виконання роботи:

1. Вивчіть будову динамометра ДПН.
2. Приготуйте прилад до виконання вимірювань. Для цього надіньте на відкритий гачок 7 петлю 8. Притримуючи установочний гвинт 1, відкрутіть стопорний гвинт 2. Обертаючи стакан 4 і натискаючи на головку гвинта 1, встановіть стрілку динамометра на нульову поділку шкали. Закрутіть стопорний гвинт.
3. Налийте в чашку 9 дистильованої води і встановіть її на підставку 10. Обертаючи гвинт тримача 11, підніміть чашку з рідиною до такого рівня, щоб петля повністю занурилась у воду.
4. Повільно опускайте чашку з водою. Для цього викручуйте гвинт тримача 11 доти, поки не розірветься плівка рідини, що тягнеться петлею. Позначте на шкалі динамометра силу розривання плівки.
5. Обчисліть поверхневий натяг за формулою (2).
6. Повторіть вимірювання тричі для кожної дротини. Обчисліть середнє значення поверхневого натягу.

б) Вимірювання поверхневого натягу води методом відривання крапель.



Мал. 5

Обладнання: терези навчальні з штативом, гирі Г4-210, штангенциркуль, клин вимірвальний з жерсті розміром $1\text{ см} \times 10\text{ см}$, голка, лінійка вимірвальна 30 см з міліметровими поділками, колба конічна, склянка низька, лійка конусоподібна з короткою шийкою, трубка гумова з краном і скляним наконечником діаметром $3\text{--}4\text{ мм}$, штатив для фронтальних робіт, вода дистильована.

Порядок виконання роботи:

Якщо вода повільно витікає з вертикально закріпленої трубки, то з її нижнього кінця відривається крапля за

краплею. Розміри кожної з крапель збільшується поступово. В міру збільшення краплі шийка її тоншає і нарешті крапля відривається. Коли крапля ще висить на шийці (мал. 5), сила тяжіння $F=mg$, яка діє на краплю, зрівноважується силою поверхневого натягу $F=\pi d\sigma$, що діє по периметру поперечного перерізу шийки, звідки:

$$\sigma = \frac{mg}{\pi d} \quad (1)$$

де σ – коефіцієнт поверхневого натягу рідини, d – діаметр найвужчого місця шийки, у якому сили поверхневого натягу напрямлені вертикально, m – маса висячої краплі.

Випускаючи рідину краплями дуже повільно, практично досягають того, що маса висячої краплі фактично дорівнює масі краплі, яка відривається (без цієї умови маса падаючої краплі буде меншою від маси, яка визначається за формулою (1):

$$m = \frac{\pi d \sigma}{g}.$$

Щоб точніше виміряти масу m краплі, у посудину набирають багато крапель і ділять загальну масу M на їх кількість n .

Для вимірювання діаметра шийки краплі, при якій крапля ще не відривається, її освітлюють розбіжним пучком світла і на екрані одержують тінь на екрані. За допомогою міліметрового паперу, приклеєного до екрана, можна виміряти розміри тіней шийки і трубки.

Якщо зовнішній діаметр трубки D' , то розміри тіні більші за діаметр у $\frac{D'}{D}$ разів. Очевидно, у стільки ж разів буду збільшений розмір тіні шийки d' від діаметра шийки d : $\frac{D'}{D} = \frac{d'}{d}$, звідки:

$$d = \frac{D}{D'} d' \quad (2)$$

Остаточна формула для посереднього вимірювання коефіцієнта поверхневого натягу рідини:

$$\sigma = \frac{(M_2 - M_1) \cdot g}{\pi d n},$$

де M_1 – маса порожньої посудини, M_2 маса посудини з n краплями води.

Опис приладу

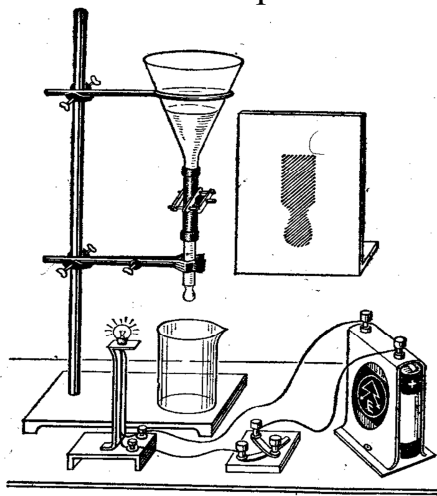
Прилад для цієї роботи показано на мал. 6: закріплена в штативі крапельниця складається з лінійки, гумової трубки, затискача і складної трубки. Кінець трубки плоско відшліфований і повністю змочуваний. З одного боку трубки встановлено освітлювач (електричну лампочку, що живиться від батарейки кишенькового ліхтарика), а з другого – екран, до якого прикріплено міліметровий папір.

Порядок виконання роботи:

1. Визначити і записати характеристики засобів вимірювання, що використовуються в роботі.

2. Виміряти штангенциркулем зовнішній діаметр трубки D і масу посудини M_1 , у яку стікатимуть краплі.

3. Затиснути гумову трубку крапельниці, налити в лійку води. Підставити під крапельницю хімічну склянку. Регулюючи затискачем, добитися повільного витікання крапель. Розмістити освітлювач і екран так, щоб тінь від краплі й кінця трубки на екрані була чіткою. Підставити склянку з виміряною масою і відлічити 20 крапель. Після того виміряти масу посудини з краплями M_2 .



Мал. 6

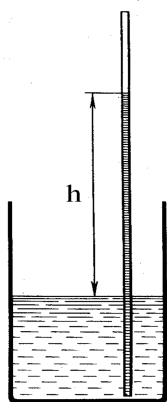
4. Спостерігаючи за рухом крапель на екрані, виміряти d' і D' . За максимальну абсолютну похибку вимірювання d' прийняти ± 3 мм. (під час вимірювання d' потрібно оцінити випадкову похибку, а для цього треба виміряти діаметр шийки кожної падаючої краплі і знайти середнє його значення, обчислити середню арифметичну похибку вимірювання і після того оцінити максимальну похибку результату вимірювання і після того оцінити максимальну похибку вимірювання діаметра шийки краплі. Для спрощення роботи цього не робимо).

5. Результати вимірювання

D, d', D', M_1, M_2 і n записати в таблицю.

6. Обчислити коефіцієнт поверхневого натягу дистильованої води.

в) Вимірювання поверхневого натягу води способом піднімання рідини в капілярі



Мал. 8

Під час вимірювання σ другим методом капілярну трубку опускають у склянку з водою і вимірюють висоту підняття води h у капілярі.

Рідина піднімається в капілярі доти, поки сила поверхневого натягу F зрівноважить силу тяжіння $F_{\text{тяж}}$, яка діє на підняту воду:

$$\pi D \sigma = \frac{\rho \pi D^2 h g}{4}.$$

Звідси:

$$\sigma = \frac{\rho g h D}{4} \quad (4)$$

де ρ – густина рідини, g – модуль прискорення вільного падіння, h – висота піднімання рідини в капілярі, D – діаметр капіляра.

Масу води вимірюють за допомогою терезів, внутрішній діаметр скляної трубки – вимірювальним клином і штангенциркулем, висоту піднімання води в капілярі – вимірювальною лінійкою, діаметр капіляра – голкою і штангенциркулем.

Порядок виконання роботи:

1. Підготуйте в зошиті таку таблицю для записування результатів вимірювань і обчислень:

№ досліду	$\rho, \text{кг/м}^3$	$h, \text{м}$	$D, \text{м}$	$\sigma, \text{Н/м}$	$\Delta \sigma$	$\varepsilon = \frac{\Delta \sigma}{\sigma}$

2. За допомогою голки і штангенциркуля виміряйте, діаметр капіляра.

3. Опустіть капіляр у воду і виміряйте висоту її піднімання в капілярі.

4. Обчисліть поверхневий натяг води за формулою (4).

5. Повторіть вимірювання кілька разів і знайдіть середнє значення. Результати вимірювань запишіть у таблицю.

6. У цій роботі оцінити похибки вимірювань дуже важко (подумайте чому), тому треба порівняти знайдені вами значення з табличними.

7. Порівняйте результати вимірювань різними методами і зробіть висновок.

2. Визначення модуля пружності гуми

Один із способів вимірювання модуля пружності ґрунтується на виконанні закону Гука:

$$\sigma = E\varepsilon.$$

Найпростіше виміряти модуль пружності гуми, оскільки вона починає деформуватися навіть при невеликих навантаженнях.

Обладнання: набір тягарців, вимірювальна лінійка з міліметровими поділками, штатив, гумовий зразок.

Порядок виконання роботи:

1. Виміряти товщину $\left(b = \frac{B}{N}\right)$ і ширину $\left(a = \frac{A}{N}\right)$ зразка з прямокутним перерізом або діаметр зразка з круглим перерізом.

2. Підвісити зразок за один з кінців на штативі і підкріпити до його нижнього кінця штатив із набору тягарців.

3. Нанести на середній частині зразка олівцем дві тонкі позначки на відстані близько 30 см одна від одної.

4. Виміряти початкову відстань l_0 між позначками.

5. Навантажити зразок тягарцями, записати їх масу m і виміряти їх відстань l між позначками.

6. Результати вимірювань записати в таблицю.

7. Обчислити площу перерізу S в деформованому стані, виходячи з того, що об'єм гуми збільшується на незначну величину і при малих деформаціях: $S_0 l_0 = S l$; $S = \frac{S_0 l_0}{l}$; $\sigma = E\varepsilon$.

$l, \text{ м}$	$a, \text{ м}$	$b, \text{ м}$	S	$m, \text{ кг}$	σ	l_0	Δl	$\varepsilon = \frac{\Delta l}{l}$	$S_0 = ab$
				0.3					
				0.4					
				0.5					
				0.6					
				0.7					
				0.8					
				0.9					
				1.0					

8. Побудувати графік $\sigma = f(\varepsilon)$.

9. З графіка визначити модуль пружності гуми $E - ?$; $E = \frac{\sigma}{\varepsilon}$.

Лабораторна робота №20

Електричне поле

Мета: оволодіти методикою й технікою проведення навчального демонстраційного експерименту з розділу фізики “Електричне поле”. Виконати роботи фізичного практикуму, передбачені програмою.

Завдання I. Опрацювати відповідний навчальний матеріал за вузівськими та шкільними підручниками.

Завдання II. Ознайомитись з умовами, які забезпечують успішне проведення дослідів з електростатики:

1. Перед вивченням теми всі прилади промити у воді з милом і просушити.
2. Скляні частини приладів покрити тонким шаром лаку.
3. Приміщення потрібно обов’язково провітрити.
4. На паличках для електризації на одному з кінців треба зробити мітку, щоб при проведенні дослідів брати її за один і той же кінець.
5. В деяких дослідах необхідне заземлення.
6. Руки повинні бути чисті і сухі.
7. Тримати дистанцію до приладів.
8. Електростатичні прилади слід тримати в темній зачиненій шафі.

Завдання III. Набути умінь і навичок у виконанні таких демонстрацій:

1. Електризація різних тіл

Мета: показати, що електризуються всі тіла (діелектрики, провідники, рідини).

Обладнання: штатив, палички: ебонітова, з органічного скла, металева на ізольованій ручці; хутро, листова гума; різні тіла: дерев’яна рейка, металевий стержень, пластмасова лінійка, склянка з тубусом і краном знизу.

1. Електризацію діелектриків можна показати за допомогою скляної або ебонітової палички довжиною 40-60 см, які потрібно потерти об хутро, шкіру, папір, шовк. Найкраще дослід виходить, якщо потерти паличку з органічного скла хутром. Індикатором, у перших дослідах з електризації, можна використати діелектричну

(наприклад, дерев'яну) стрілку на голці або шматок вати, яка підвішена на довгій тонкій нитці.

2. Електризацію металів найпростіше показати наступним чином: металеву лопатку потерти об паличку, яка виготовлена з органічного скла. Якщо після цього лопатку піднести до шматка вати, то буде помітним її притягання до лопатки.

2. Взаємодія наелектризованих тіл

Мета: показати, що наелектризовані тіла притягують всі тіла (легкі, важкі, тверді, рідини і газоподібні). Досліди повинні допомогти перебороти уяву учнів про те, що наелектризовані тіла притягують тільки легкі тіла.

Обладнання: штатив, електричний султан, дві гільзи на нитках, палички, сукно й хутро.

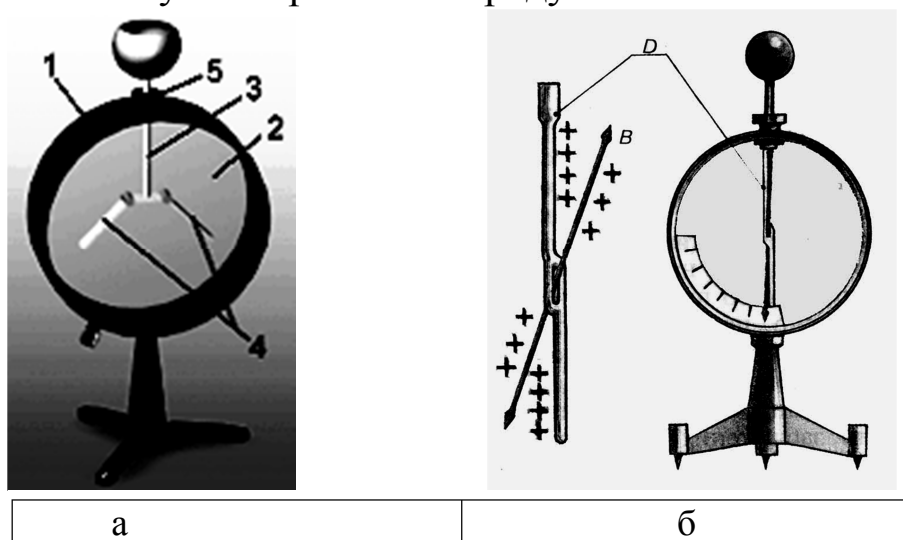
Електризують султан за допомогою наелектризованої палички (листочки султана розходяться в різні сторони). Потім повторюють дослід із гільзами наелектризовані тіла взаємно відштовхуються.

3. Будова і дія електроскопа й електрометра

Мета: підготувати учнів до сприйняття матеріалу, який буде вивчатись пізніше.

Прилад, за допомогою якого можна з'ясувати, чи наелектризоване тіло, ґрунтується на взаємодії заряджених тіл. Він називається електроскопом (від грецьких слів: “електрон” і “скопо” – спостерігати, виявляти). Для виявлення наелектризованих тіл служать спеціальні прилади – **електроскопи**. Зовнішній вигляд приладу ви бачите на мал. 1а. Циліндричний корпус (1) закритий склом (2). Усередину приладу вставлений металевий стержень (3) з легенькими пелюстками (4). Від металевого корпусу приладу стержень відділений пластмасовою втулкою (5). Якщо виступаючої частини стержня торкнутися яким-небудь наелектризованим тілом, то пелюстки відхиляться один від одного

В електрометрі на кінці металевого стержня прикріплена стрілка, а на корпусі – шкала (мал. 1 б). З його допомогою можна виміряти величину електричного заряду.



Мал. 1

4. Одночасна електризація двох взаємодіючих тіл

Мета: показати, що при терті двох тіл на одному з них з'являється позитивний електричний заряд, а на другому – рівний йому негативний.

Обладнання: два електрометри, пластинки, розрядник, два кульові кондуктори.

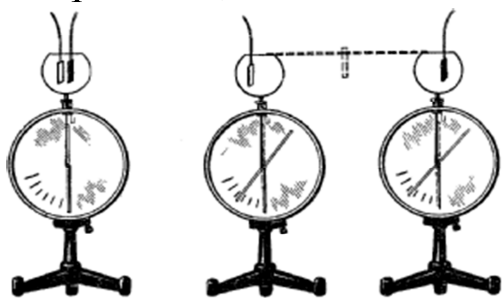
При електризації тертям заряджаються обидва тіла рівними й різнойменними зарядами. Це можна наочно показати, якщо скористатися двома пластинками для електризації (ебонітовою і скляною) й електрометром з великим пустотілим кульовим кондуктором.

Спочатку вносять в пустотілу кулю незаряджені пластинки і переконуються, що електрометр не виявляє яких-небудь зарядів. Тоді електризують пластинки, потерши одну об одну, і знову вносять їх всередину кулі. Тепер при внесенні кожної пластинки стрілка електрометра відхиляється на однаковий кут. На це звертають увагу.

Вносять в порожнину кулі, не торкаючись стінок, відразу обидві пластинки (мал. 2 а). Електрометр не виявить ніякого заряду – стрілка не відхилиться. Якщо ж забрати одну із пластин, то стрілка знову відхилиться.

З досліду роблять висновок, що заряди на обох пластинках протилежні за знаком і рівні за величиною.

Дослід корисно продовжити, скориставшись двома однаковими електрометрами. Беруть дві пластинки на ізольованих ручках і, потерши їх, вносять в пустотілі кулі, насаджені на стержні

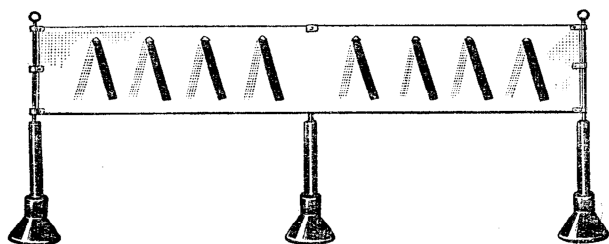


Мал. 2

електрометрів (мал. 2 б). При цьому, стрілки електроскопів відхиляються на однакові кути, що вказує на однакові величини зарядів на обох пластинах. З'єднуючи електроскопи за допомогою розрядника, спостерігають нейтралізацію зарядів. Це все вказує на рівність зарядів і їх різнойменність.

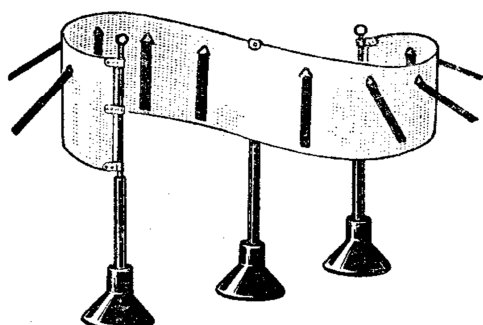
5. Розподіл електричних зарядів на поверхні провідника

Мета: показати, що поверхнева густина електричних зарядів провідника залежить від його кривизни.



Мал. 3

Обладнання: сітка Кольбе, колесо Франкліна, конусний кондуктор, високовольтний випрямляч або електрофорна машина, свічка на підставці, вістря, ебонітова й скляна палички, кулька, електрометр.



Мал. 4

Гнучку металеву сітку з паперовими пелюстками встановлюють так, як показано на мал. 3, і електризують паличкою з ебоніту або скла. Пелюстки на обох сторонах сітки відхиляються однаково. Це дає підставу вважати, що електричні заряди

розподіляються по всій поверхні однаково.

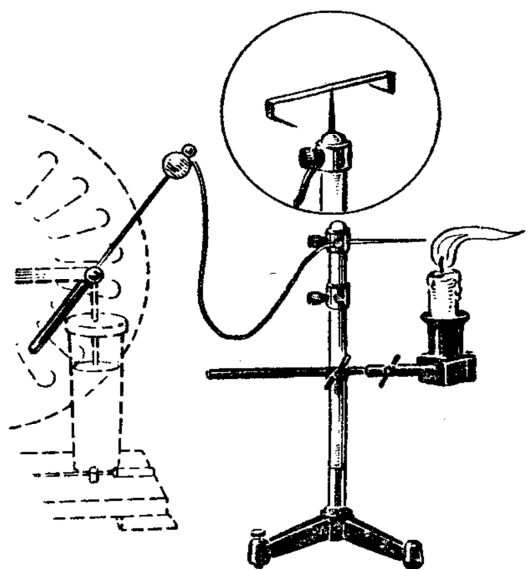
Потім вигинають сітку різними способами і показують, що кожен раз пелюстки на вгнутих поверхнях спадають, а на опуклих – відхиляються сильніше (мал. 4).

Наелектризувавши конусний провідник, доторкуються до різних точок поверхні пробною кулькою, переносячи кожний раз заряд на електрометр.

Далі демонструють відомий дослід із конусоподібним кондуктором. Торкаючись кулькою внутрішньої конічної поверхні, а потім електроскопа, помічають, що стрілка не відхиляється, що вказує на відсутність електричних зарядів на внутрішній поверхні. Перенос зарядів із циліндричної частини викликає відхилення стрілки приблизно на однаковий кут, що свідчить про приблизно однакову густину заряду на цій частині провідника. По мірі наближення до

вершини конуса кут відхилення збільшується, значить і поверхнева густина заряду збільшується.

Особливо велика густина електричних зарядів створюється біля вістря. Молекули повітря поблизу вістря іонізуються, і виникає потік іонів, напрямлених від вістря. Щоб продемонструвати це явище, закріплюють на ізоляційній підставці металевий стержень із вістрям і з'єднують його з одним із кондукторів



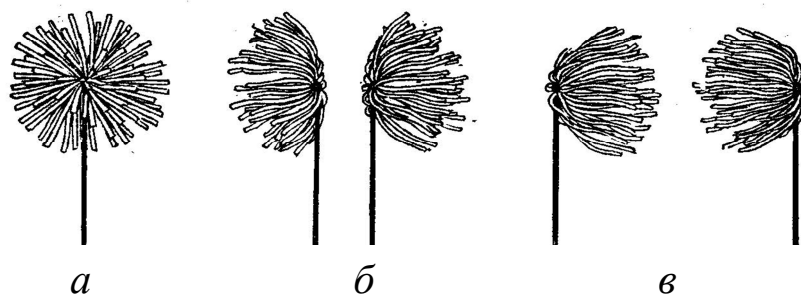
Мал. 5

електрофорної машини (мал. 5). Напроти вістря розміщують запалену свічку. При обертанні машини спостерігають “електричний вітер”, який сильно відхиляє полум’я свічки.

Після цього насаджують на вістря вертушку – колесо Франкліна. При роботі електрофорної машини колесо починає швидко обертатись.

6. Силіві лінії електричного поля

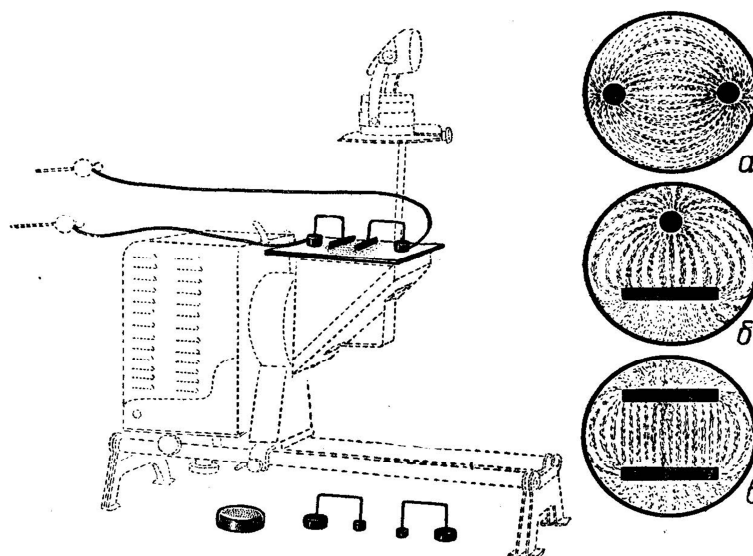
Обладнання: султани на підставках, конденсатор розбірний, пластинка скляна з набором електродів, електрофорна машина або високовольтний випрямляч, проекційний апарат, гіпосульфід натрію або манна крупа в чашці Петрі, з’єднувальні провідники.



Мал. 6

Найпростішу демонстрацію електричних силових ліній виконують за допомогою султанів, які встановлюють на ізолюючих підставках, і добре заряджають за допомогою електрофорної машини. Спочатку показують дослід з одним зарядженим султаном, і звертають увагу на радіальне розміщення паперових смужок (мал. 6 *a*). Потім заряджають обидва султани однойменними (мал. 6 *б*) і різнойменними зарядами (мал. 6 *в*) й показують викривлення смужок при відштовхуванні і притяганні.

Утворення електричних силових ліній, звичайно, проектують на екран (мал. 7). Розміщують у чашці Петрі два циліндрики на відстані 15-20 мм один від одного, й одержують на екрані чітку картину. З'єднують їх тонкими гнучкими провідниками з кондуктором високовольтного випрямляча або електрофорної машини, і встановлюють напругу порядку 2-3 кВ. Потім із коробки з сіткою рівномірно посипають навколо електродів кристалики гіпосульфїта



Мал. 7

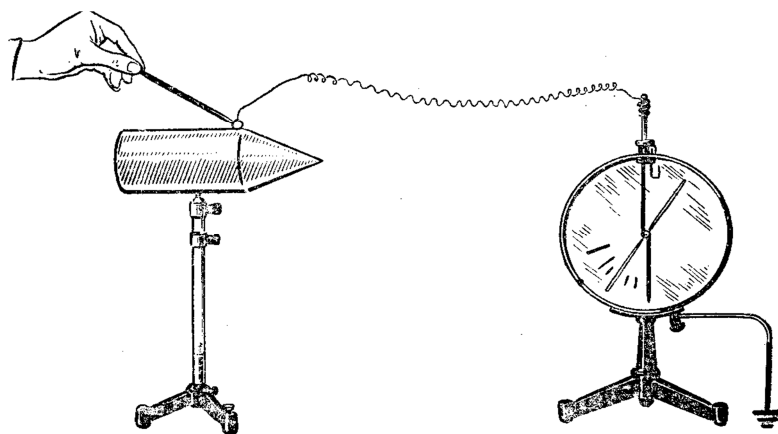
або манну крупу, й одночасно легенько постукують олівцем. Під дією електричного поля кристалики розміщуються вздовж силових ліній, утворюючи при різних електродах спектри поля двох заряджених куль, пластини і кулі, двох пластин.

7. Еквіпотенціальні поверхні

Мета: показати, що наелектризований провідник має однаковий потенціал на всіх точках його поверхні.

Обладнання: конусний провідник, високовольтний випрямляч, пробна кулька, електрометр.

Конусний провідник наелектризують від високовольтного випрямляча. На відстані 1 м розмістити електрометр і заземлити його (мал. 8). Стержень електрометра з'єднати дротиною із пробною кулькою. Переміщуючи кульку, покажемо, що потенціал усіх точок однаковий.



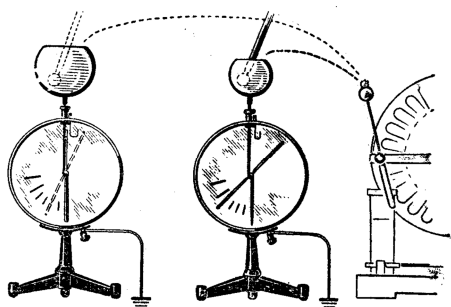
Мал. 8

8. Поняття про електроємність

Мета: за допомогою експерименту ввести поняття про електроємність.

Обладнання: два електрометри, пластинки, кондуктори кульові – великий і малий, диск від розбірного конденсатора, електрофорна машина або високовольтний випрямляч, пробна кулька на ізолюваній ручці.

На електрометри надівають кульові кондуктори: на один – великий, а на другий – малий. Корпуси електрометрів заземляють. При цьому куля, стержень і стрілка утворюють одну з обкладок конденсатора, а ізолюваний від них корпус електрометра й земля – іншу.



Мал. 9

Зарядивши банки електрофорної машини, швидко переносять від неї пробною кулькою однакові заряди на кульові кондуктори (мал. 9). Для цього достатньо декілька раз пробною кулькою торкнутись кондуктора машини, і кожен раз вносити її всередину куль, торкаючись їх

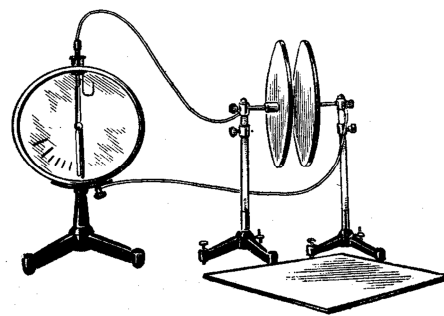
внутрішньої поверхні. Заряджати краще велику кулю, а тоді малу. Із збільшенням заряду збільшується і різниця потенціалів, яка фіксується електрометром. Виявляється, що при однакових умовах для різних куль, ця різниця потенціалів неоднакова: один і той же заряд надає більшій кулі меншу різницю потенціалів. Величина $\frac{q}{U} = \text{const}$ для даного провідника і вона залежить тільки від його розмірів. Цю властивість накопичувати електричний заряд називають електроємністю і вона рівна: $C = \frac{q}{U}$.

9. Електроємність плоского конденсатора

Мета: експериментально встановити, від чого і як залежить електроємність конденсатора.

Обладнання: конденсатор розбірний, високовольтний випрямляч, електрометр.

Зібрати плоский конденсатор з великих пластин. Приєднати до пластин електрометр. Відстань між пластинами встановити 2-3 см. Наелектризувати пластини від високовольтного випрямляча (мал. 10). Помітити різницю потенціалів між пластинами. Потім, не змінюючи відстані між пластинами, зсувають одну з них в сторону. При цьому помітно збільшується покази електрометра, що свідчить про зменшення ємності конденсатора при зменшенні площі пластин, які взаємно перекривають одна одну, тобто $C \sim S$, де S – площа пластин.



Мал. 10

Після цього демонструють залежність ємності конденсатора від зміни відстані між пластинами. Наближаючи або віддаляючи одну із пластин, спостерігають за показами електрометра. З досліду переконуються, що ємність конденсатора змінюється обернено пропорційно відстані між пластинами, тобто $C \sim \frac{1}{d}$, де d – відстань між пластинами.

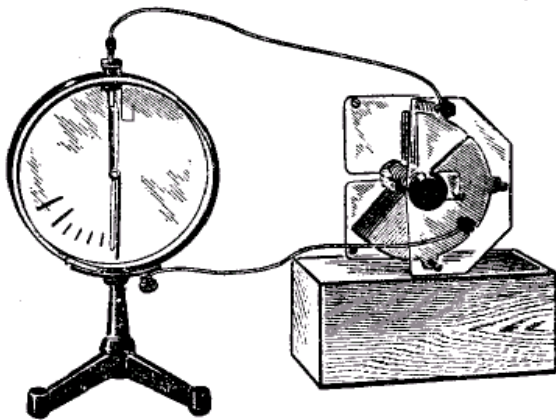
Залишивши відстань між пластинами незмінною, вносять у проміжок між ними діелектрики з різними діелектричними проникностями, наприклад, із скла і ебоніту. Спостерігають за показами електрометра і роблять висновок, що $C \sim \varepsilon$, де ε – діелектрична проникність.

10. Будова й дія конденсатора змінної ємності

Мета: вивчити будову конденсатора змінної ємності способом зміни його електроємності.

Обладнання: електрометр, конденсатор змінної ємності, високовольтний випрямляч, столик, провідники.

Рухомі пластини конденсатора (ротор) з'єднують із корпусом електрометра, а нерухомі (статор) – зі стержнем (мал. 11). За допомогою електрофорної машини заряджають конденсатор так, щоб стрілка електрометра відхилилась на 2-3 поділки.



Мал. 11

Помічають положення стрілки, зменшують ємність конденсатора і спостерігають, як при незмінній величині заряду збільшуються покази електрометра.

11. Енергія зарядженого конденсатора

Мета: показати, що заряджений конденсатор володіє енергією.

1. Обладнання: електролітичний конденсатор великої ємності, електрична лампочка (220 В, 15 Вт), випрямляч ВС – 24, двохполюсний перемикач, провідники.

Показують, що енергія зарядженого конденсатора залежить від різниці потенціалів на його пластинах. Від джерело живлення подають напругу 5 В . Заряджають конденсатор, замикаючи короткочасно коло зарядки перемикачем. Потім перемикають конденсатор на розрядку через автомобіль, і спостерігають, що він при цьому рухається і проїжджає деяку відстань. З цією метою повторюють дослід із тією ж ємністю при подвійній напрузі. Спостерігають рух автомобіля і фіксують відстань, яку він проїхав. Ця відстань повинна бути приблизно в 4 рази більшою. Робимо висновок, що $E \sim U^2$.

Змінюючи конденсатори різної ємності відмічаємо різну відстань яку проходить автомобіль. Робимо висновок, що $E \sim C$.

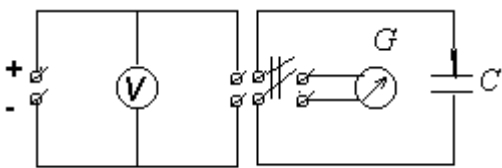
Таким чином, цей дослід також показує залежність енергії зарядженого конденсатора від його ємності і напруги, й підводить до розуміння формули:

$$W = \frac{CU^2}{2}.$$

Завдання IV. Виконати лабораторні роботи, додержуючись методичних вимог, щодо оформлення їх письмового звіту:

1. Визначення ємності конденсатора

Обладнання: джерело струму, вольтметр, конденсатор відомої ємності, конденсатор невідомої ємності, штангенциркуль, двохполюсний перемикач, провідники, гальванометр від демонстраційного амперметра.



Мал. 14

Для визначення ємності прилад спочатку градуємо в одиницях заряду. Для цього складаємо коло за схемою, поданою на мал. 14, де C – ємність еталонного конденсатора. Поставивши двохполюсний перемикач у положення I, заряджаємо конденсатор. Перекидаємо перемикач у положення II і цим самим розряджаємо конденсатор через гальванометр. Заносимо до таблиці число поділок N , на яке відхиляється стрілка гальванометра (бажано, щоб це число було цілим). Якщо стрілка відхиляється за межі шкали, потрібно зменшити ємність або напругу зарядження конденсатора.

№ п\п	Ємність конденсатора $C, \text{мкФ}$	Напруга на конденсаторі $U, \text{В}$	Заряд конденсатора $q, \text{Кл}$	Число поділок N	Ціна поділки $k, \text{Кл/под}$
1					
2					
3					
4					
5					

Заряд конденсатора обчислюємо за формулою $q=CU$, а ціну поділки за формулою $k = \frac{q}{N}$. Дослід повторюємо декілька разів і знаходимо середню ціну поділки приладу:

$$k = \frac{k_1 + k_2 + k_3 + \dots + k_n}{n}.$$

Знаючи середню ціну поділки, визначимо ємність двох невідомих конденсаторів, ємність паралельного і послідовного їх з'єднання. Для цього конденсатори невідомої ємності C_x і їх з'єднання включаємо по черзі в електричне коло, результати вимірювань і обчислень заносимо до таблиці.

№ п\п	Напруга на конденсаторі $U, \text{В}$	Число поділок N	Заряд конденсатора $q, \text{Кл}$	Ємність конденсатора $C, \text{мкФ}$
1				
2				
3				
4				
5				

Обчислюємо, за відомими формулами, загальну ємність конденсаторів при паралельному та послідовному їх з'єднанні і порівнюємо результати з тими, що були одержані експериментальним шляхом.

Висновок:

Лабораторна робота № 21

Електричний струм у металах

Мета: оволодіти методикою і технікою постановки демонстрацій з теми “Електричний струм у металах”. Виконати шкільні лабораторні роботи, передбачені програмою.

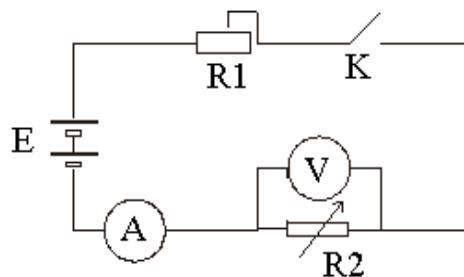
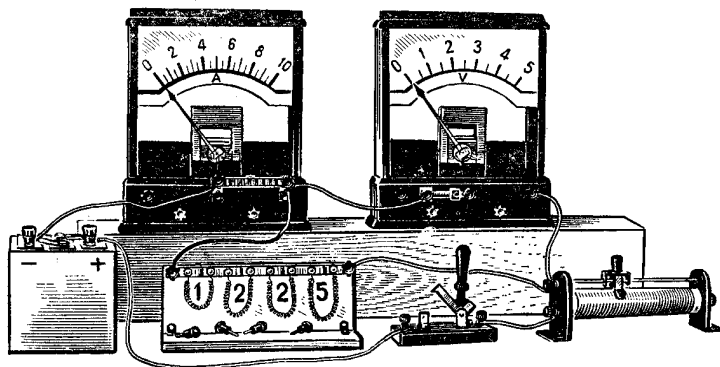
Завдання I. Опрацювати відповідний навчальний матеріал за вузівськими та шкільними підручниками.

Завдання II. Набути умінь і навичок у виконанні таких демонстрацій:

1. Закон Ома для ділянки кола

Обладнання: демонстраційний амперметр з шунтом на 3 A , вольтметр демонстраційний з додатковим опором на 5 B , демонстраційний магазин опорів, реостат з повзунком на $6\text{--}10\text{ Ом}$, батарея акумуляторів або випрямляч на $6\text{--}8\text{ B}$, вимикач, з'єднувальні провідники.

Складають електричне коло за схемою (мал. 1). Вмикають у магазині опір R_1 , наприклад 2 Ом , і замикають коло. Реостатом R_2 встановлюють напругу, наприклад 3 B . Амперметр покаже $1,5\text{ A}$. Зменшують напругу до 2 B , а потім і до 1 B . Амперметр покаже відповідно 1 A і $0,5\text{ A}$. На основі аналізу результатів, записаних у таблицю, роблять висновок: сила струму прямо пропорційна напрузі. Залежність між силою струму і опором при сталій напрузі демонструють так: у магазині опорів встановлюють опір, наприклад 4 Ом , реостатом встановлюють напругу на ділянці 2 B . Амперметр покаже $0,5\text{ A}$. Потім, зменшують опір до 2 Ом і 1 Ом . Сила струму в колі становитиме 1 A і 2 A . На ділянці кола сила струму обернено пропорційна опору.



Мал. 1

Узагальнюють усі дані досліду і формулюють закон Ома для ділянки кола.

Для встановлення на ділянці кола необхідної напруги використовують схему з потенціометром або реостатом, включеним послідовно з досліджуваним навантаженням.

2. Залежність опору провідників від їх довжини, площі поперечного перерізу і матеріалу

Обладнання: джерело електричної енергії, вольтметр і амперметр демонстраційні, вимикач, провідники різних опорів, рулетка, з'єднувальні провідники.

Скласти коло з джерела електричної енергії, провідника з невідомим опором, амперметра і ключа. До кінців провідника, опір якого вимірюють, приєднують вольтметр. Записують покази амперметра і вольтметра. За законом Ома обчислюють опір провідника. Вимірюють довжину і діаметр провідника і обчислюють площу поперечного перерізу. Знаходять залежність опору провідника від його довжини і площі поперечного перерізу. Повторюють досліди з іншими провідниками. Обчислюють питомий опір різних провідників (матеріалів). Для зручності користування провідниками і для поліпшення наочності досліду провідники закріплюють як показано на мал. 2.

Мал. 2

Завдання III. Виконати лабораторні роботи, додержуючись методичних вимог, що до оформлення їх письмового звіту:

1. Вивчення послідовного з'єднання провідників

Обладнання: батарея живлення, два нікелінові провідники (два дротяні резистори з набору), амперметр, ключ, реостат, з'єднувальні провідники.

Послідовність виконання роботи:

1. Складіть коло з джерела струму, реостата, двох провідників, амперметра, ключа, з'єднавши їх послідовно (мал. 3).

2. Виміряйте напругу на всій ділянці кола, яка складається з двох провідників, на окремих провідниках, і

силу струму в колі.

3. Обчисліть за результатами вимірювань опір усієї ділянки і опір окремих провідників.

4. Результати вимірювань і обчислень занесіть у таблицю.

Напруга на всій ділянці кола	Сила струму	Опір усієї ділянки кола $R = \frac{U}{I}$	Напруга на кінцях 1-го провідника	Опір 1-го провідника $R_1 = \frac{U_1}{I_1}$	Напруга на кінцях 2-го провідника	Опір 2-го провідника $R_2 = \frac{U_2}{I}$
U, B	I, A	$R, Ом$	U_1, B	$R_1, Ом$	U_2, B	$R_2, Ом$

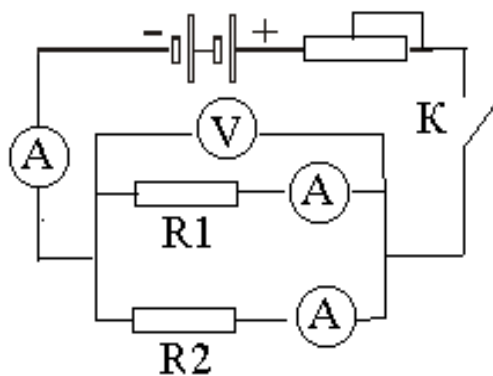
5. Порівняйте опір усієї ділянки кола R із сумою опорів двох провідників $R_1 + R_2$. Зробіть висновок.

6. Порівняйте напругу на ділянці двох провідників U із сумою $U_1 + U_2$ на кінцях окремих провідників. Зробіть висновок.

Висновок:

2. Вивчення паралельного з'єднання провідників

Обладнання: батарея живлення, два нікелінові провідники (дві спіралі з набору), амперметр, ключ, реостат, з'єднувальні провідники.



Мал. 4

Послідовність виконання роботи:

1. Складіть коло за схемою, поданою на мал. 4.

2. Виміряйте напругу на кінцях провідників з'єднаних паралельно.

3. Виміряйте силу струму в основному колі і її вітках.

4. Результати вимірювань і обчислень занесіть у таблицю.

Напруга на ділянці кола	Загальний струм	Сила струму у 1-й вітці	Сила струму у 2-й вітці	Опір ділянки $R = \frac{U}{I}$	Опір 1-ї вітки $R_1 = \frac{U}{I_1}$	Опір 2-ї вітки $R_2 = \frac{U}{I_2}$
$U, В$	$I, А$	$I_1, А$	$I_2, А$	$R, Ом$	$R_1, Ом$	$R_2, Ом$

5. За одержаними даними обчисліть значення опору всієї ділянки й окремих віток.

6. Порівняйте суму сил струмів $I_1 + I_2$ в окремих провідниках із силою струму I в основному колі. Зробіть висновок.

Перевірте, чи підтверджується дослідом формула:

$$\frac{1}{R} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2}.$$

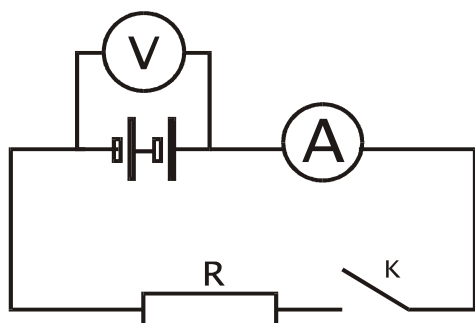
Висновок:

3. Визначення ЕРС і внутрішнього опору джерела струму

Мета: використовуючи будь-яке джерело струму визначити його ЕРС і внутрішній опір. У роботі розглянути найпростіші способи вимірювання ЕРС і внутрішнього опору джерела струму на основі закону Ома для замкнутого кола:

$$I = \frac{\mathcal{E}}{R + r}.$$

Обладнання: амперметр, вольтметр, джерело струму (лужний акумулятор або батарейка), резистор дротяний з опором $R = (2 \pm 0,12) Ом$, ключ, з'єднувальні провідники.



Мал. 5

Послідовність виконання роботи:

1. Скласти електричне коло за схемою поданою на мал. 5.

2. Виміряти вольтметром ЕРС джерела, користуючись тим, що напруга між його полюсами мало відрізняється від ЕРС, якщо $R_g \gg r$.

У цій роботі $R_g \approx 10^3$ Ом, який значно перевищує внутрішній опір джерела струму.

3. Записати абсолютну похибку вимірювання ЕРС.

4. Замкнути ключ, виміряти силу струму I . Записати абсолютну похибку вимірювання сили струму.

5. Обчислити внутрішній опір джерела:

$$I = \frac{\mathcal{E}}{R + r}.$$

6. Результати вимірювань записати в таблицю.

№ п/п	ЕРС джерела \mathcal{E} , В	$\Delta\mathcal{E}$, В	Сила струму I , А	ΔI , А	Внутрішній опір r , Ом

7. Враховуючи, що $r = \frac{\mathcal{E}}{I} - R$, знайти Δr , користуючись тим, що при додаванні і відніманні наближених величин їхні абсолютні похибки додаються: $\Delta r = \Delta_1 + \Delta_2$. У цій формулі Δ_1 - абсолютна похибка величини $\frac{\mathcal{E}}{I}$, Δ_2 -абсолютна похибка, з якою відоме значення опору R . Щоб знайти Δ_1 , слід величину $\frac{\mathcal{E}}{I}$ помножити на відносну похибку $\frac{\Delta\mathcal{E}}{\mathcal{E}} + \frac{\Delta I}{I}$.

Абсолютна похибка опору становить $\Delta_2 = 0,12$ Ом.

8. Остаточні результати записати у вигляді:

$$\mathcal{E} - \Delta\mathcal{E} \leq \mathcal{E} \leq \mathcal{E} + \Delta\mathcal{E}$$

$$r - \Delta r \leq r \leq r + \Delta r$$

Висновок:

4. Визначення питомого опору провідника

Мета: виміряти питомий опір провідника використовуючи закон Ома для ділянки кола і формулу, яка пов'язує опір провідника циліндричної форми з геометричними розмірами.

Обладнання: амперметр, вольтметр, вимірювальна стрічка, мікрометр, джерело струму (акумулятор або батарея), дріт з матеріалу, який має великий питомий опір завдовжки приблизно 65-70 см і діаметром 0,25-0,5 мм, ключ, з'єднувальні провідники.

Послідовність виконання роботи:

1. Виміряйте стрічкою довжину дротини l .
2. Виміряйте мікрометром діаметр дротини d і обчисліть площу його поперечного перерізу за формулою:

$$S = \frac{\pi d^2}{4}.$$

3. Записати результати в таблицю.
4. Скласти коло, з'єднавши послідовно джерело струму, дротину, амперметр і ключ.
5. Паралельно з дротом увімкнути вольтметр.
6. Замкнувши ключ, виміряти силу струму I в колі і напругу U , на кінцях дротини. Результати записати в таблицю.
7. Обчислити питомий опір за формулою:

$$\rho = \frac{U \pi d^2}{4 I l}.$$

Довжина дротини	Діаметр дротини	Площа перерізу дротини	Сила струму	Напруга	Питомий опір
$l, \text{м}$	$d, \text{м}$	$S, \text{м}^2$	$I, \text{А}$	$U, \text{В}$	$\rho, \text{Ом м}$

8. Обчислити похибку E_ρ .
9. Знайти $\Delta\rho = \rho E_\rho$.
10. Результати вимірювань записати у вигляді:

$$\rho - \Delta\rho \leq \rho \leq \rho + \Delta\rho.$$

11. Користуючись довідником визначити матеріал, з якого виготовлено дrottину.

Висновок:

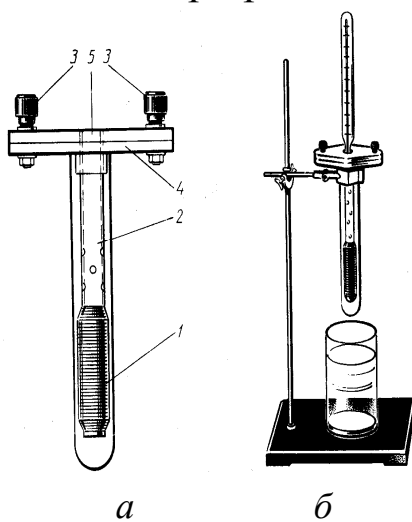
5. Дослідження залежності опору провідників від температури

Обладнання: прилад для вимірювання термічного коефіцієнта опору дротини, склянка висока з водою, амперметр демонстраційний, термометр лабораторний від 0° до 100° , штатив для фронтальних робіт, електроплитка, комплект з'єднувальних провідників.

Температурний коефіцієнт опору провідників визначається співвідношенням:

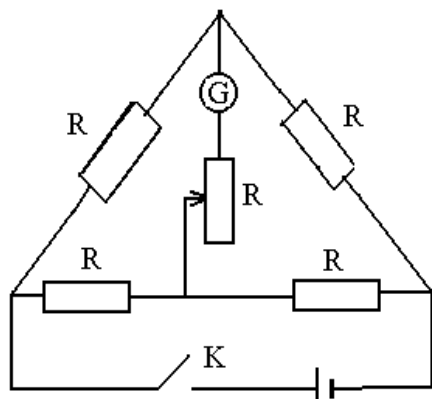
$$\alpha = \frac{R_t - R_0}{R_0 t},$$

де R_0 – опір провідника при температурі 0°C , R_t – опір провідника при температурі $t^{\circ}\text{C}$, t – температура провідника.



Мал. 6

Прилад (мал. 6 а), який застосовується для визначення температурного коефіцієнта опору міді, складається з картонного каркасу 2 на який намотаний мідний ізольований провідник 1. Його кінці виведено до затискачів 3, які встановлені на пластмасовій колодці 4. Зверху в колодці є отвір 5 для термометра, який вимірює температуру обмотки котушки. В цей же отвір можна налити трансформаторного масла, для рівномірного нагрівання мідного провідника.



Мал. 7

Послідовність виконання роботи:

1. Налийте в склянку води.
2. Складіть установку спочатку без термометра (мал. 6 б).
3. Складіть електричне коло за схемою

мал. 7 (місток Уінтстона) для вимірювання опору провідника.

4. Ввімкніть електроплитку і вимірюйте опір провідника через кожні $5^{\circ}C$ до $80^{\circ}C$.

5. Результати вимірювання запишіть у таблицю.

$t, ^{\circ}C$																	
R, Ω																	

6. Закріпіть прилад на штативі так, щоб котушка була над водою.

Проробіть аналогічні вимірювання при охолодженні.

$t, ^{\circ}C$																	
R, Ω																	

7. Побудуйте графік залежності опору провідника від температури.

8. З графіка знайдіть температурний коефіцієнт опору мідного провідника і його опір при $0^{\circ}C$.

Висновок:

Лабораторна робота № 22

Електричний струм у вакуумі

Мета: оволодіти методикою і технікою постановки демонстрацій з теми „Електричний струм у вакуумі”. Виконати шкільні лабораторні роботи, передбачені програмою.

Завдання I. Опрацювати відповідний навчальний матеріал за шкільними й вузівськими підручниками.

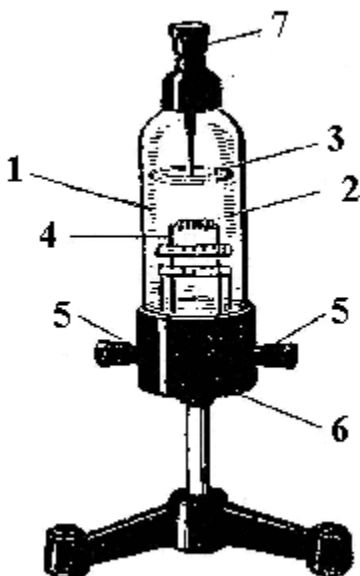
Завдання II. Набути умінь і навичок у виконанні таких демонстрацій:

1. Термоелектронна емісія

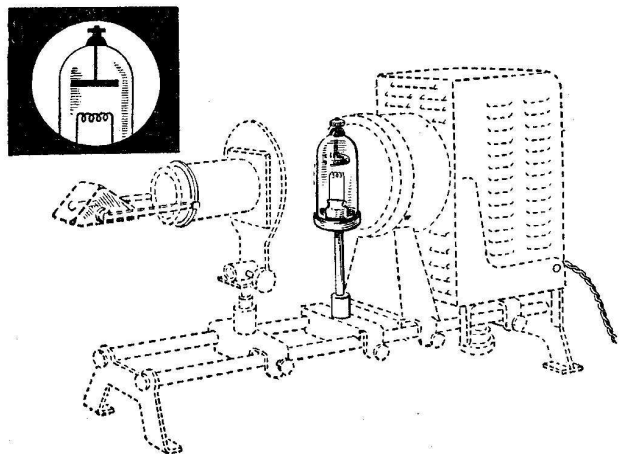
Обладнання: електронна лампа – діод демонстраційний, джерело живлення ВУП, реостат на 10 Ом , 2 А , електрометр, провідник на ізоляційній ручці, проекційний апарат, ебонітова і скляна палички, шматок хутра, вимикач демонстраційний, з'єднувальні провідники.

Для спостереження термоелектронної емісії використовують демонстраційний вакуумний діод (мал. 1).

В скляному балоні *1* циліндричної форми знаходяться два електроди – катод *2* і анод *3*. Нитка розжарення приварена до двох стояків – опор *4*, які мають виводи зовні. Ці виводи, прикріплені до двох гвинтових затискачів *5*. Вони служать для приєднання катода до джерела електроживлення, яке дає струм до $1,5\text{--}2\text{ А}$ при напрузі $6,3\text{ В}$. Обидва затискачі розміщені на цоколі в площині нитки розжарення і вихідних провідників. Це дозволяє більш наочно простежити підводку струму до катода.



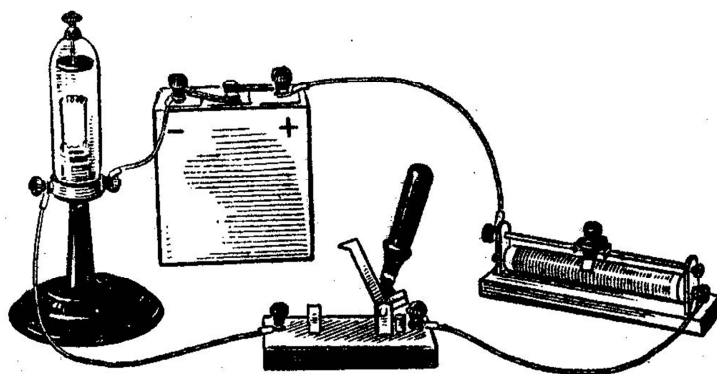
Мал. 1



Мал. 2

Анод 3 виконаний у виді плоского диска діаметром 30 мм із нікелю або будь-якого іншого тугоплавкого матеріалу. Вивід від анода закінчується гвинтовим затискачем 7 для вмикання його в електричне коло.

Для кращої наочності демонстрації будови лампи можна супроводжувати її проектуванням на екран (мал. 2). Починають дослід демонстрацією розжарення катода струмом. Для цього складають електричне коло з діода, джерела струму, реостата на 10-15 Ом і ключа. Замикають коло і, користуючись реостатом, доводять розжарення катода до яскраво червоного кольору (мал. 3).



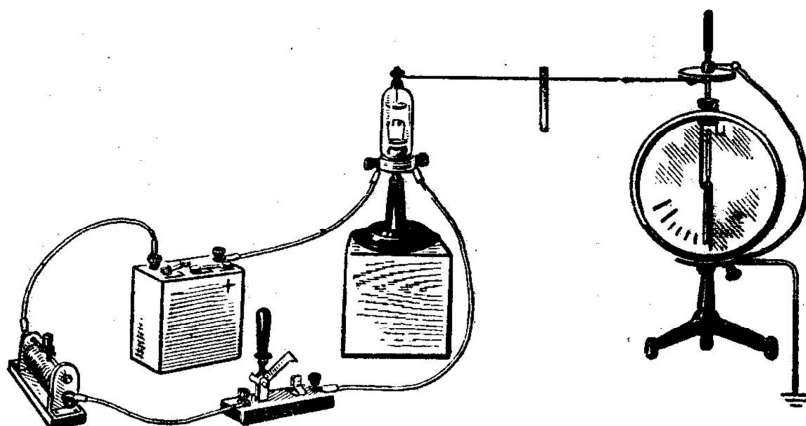
Мал. 3

Учням пояснюють, що з розжареного катода як, і з будь якого гарячого тіла, в навколишнє середовище вилітають електрони. Електрони мають різну швидкість; деякі з них досягають анода і заряджають його негативно. Це можна виявити на демонстраційному електрометрі з конденсатором у вигляді двох дисків. Один з дисків конденсатора встановлюють на стержень електрометра, а інший, який має ебонітову ручку, кладуть зверху так, як на мал. 4. Корпус електрометра і верхній диск заземлюють.

Провідником на ізоляційній ручці на короткий час з'єднують анод діода з нижнім диском конденсатора і тим самим передають йому деякий заряд. Потім забирають верхній диск. Оскільки при цьому ємність приладу в багато разів зменшується, то потенціал зростає і стрілка електрометра помітно відхиляється.

Після цього досліджують знак заряду електрометра. Для цього до електрометра на деякій відстані підносять негативно заряджену ебонітову паличку і спостерігають збільшення відхилення стрілки – електрометр отримав від'ємний заряд.

Явище термоелектронної емісії можна продемонструвати і на іншому досліді. Зарядивши електрометр позитивно, наприклад, від наелектризованої скляної палички, з'єднують його провідником на ізоляційній ручці з анодом діода, як показано на мал. 5. Звертають увагу учнів на те, що при холодному катоді електрометр не заряджається. Потім замикають коло і спостерігають, що стрілка електрометра швидко спадає, оскільки електрони, які випускаються розжареним катодом, притягуються позитивно зарядженим анодом і нейтралізують його заряд.



Мал. 4

Якщо ж зарядити електрометр негативно і з'єднати його з анодом, то він не заряджається, навіть при розжареному катоді. Електрони, що вилітають із катода, не притягуються, а відштовхуються від анода і повертаються назад до катода.

4. Будова трьохелектродної електронної лампи (тріода)

(див. лабораторна робота №2)

5. Будова і принцип роботи електронно-променевої трубки

(див. лабораторна робота №5)

Завдання III. Виконати лабораторну роботу, дотримуючись методичних вимог, що до оформлення їх письмового звіту:

Зняття вольт-амперної характеристики діода

Обладнання: демонстраційний вакуумний діод, міліамперметр, вольтметр, реостат повзунковий РП-6, реостат повзунковий РПШ-0,1, джерело струму ВУП, з'єднувальні провідники.

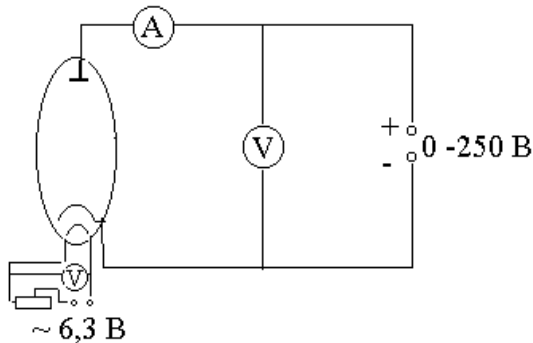
Основною характеристикою діода є його анодна характеристика, яка показує залежність сили анодного струму діода від анодної напруги при незмінній напрузі розжарення.

В даній роботі потрібно зняти анодні характеристики діода при трьох різних напругах на нитці розжарення, визначити опір діода при різних напругах і перевірити його односторонню провідність.

Послідовність виконання роботи:

1. Електричне коло (мал. 6) складається з двох кіл: розжарення і анодного.

Спочатку складіть коло розжарення. Повзунок реостата поставте в таке положення, щоб реостат був включений повністю.



Мал. 6

Потім складіть анодне коло. Ручку потенціометра ВУП поставте на мінімум анодної напруги.

2. Зніміть анодну характеристику діода при напрузі розжарення нитки катода 5 В . Для цього за допомогою потенціометра збільшуйте анодну напругу від нуля

до одержання струму насичення через кожних 10 В , знімайте покази вольтметра і відповідні їм покази міліамперметра при незмінній напрузі розжарення.

3. Результати запишіть в таблицю.

$$U_p = 5\text{ В}$$

$U_a, \text{В}$															
$I_a, \text{мА}$															

4. Побудуйте анодну характеристику діода. По осі абсцис відкладайте анодну напругу U в вольтах, а по осі ординат – силу анодного струму в міліамперах.

5. З графіка визначте внутрішній опір діода при напрузі 50 В і 100 В .

$$R_i = \frac{\Delta U_a}{\Delta I_a}$$

6. Аналогічно зніміть анодну характеристику діода при напрузі розжарення катода, наприклад $4,5$ і $5,5\text{ В}$.

$$U_p = 4,5\text{ В}$$

$U_a, \text{В}$															
$I_a, \text{мА}$															

$$U_p = 5,5\text{ В}$$

$U_a, \text{В}$															
$I_a, \text{мА}$															

7. За одержаними даними в тій же системі координат побудуйте другу анодну характеристику діода.

8. Змініть полярність включення діода: анод підключіть до мінуса, а катод до плюса джерела струму. Збільшуючи поступово напругу на діоді, слідкуйте за міліамперметром. Визначте, чи буде проходити струм через діод.

Висновок:

Лабораторна робота № 23

Електричний струм в електролітах і газах

Мета: оволодіти методикою і технікою проведення навчального експерименту з теми „Електричний струм в електролітах і газах”. Виконати фронтальну лабораторну роботу „Визначення електрохімічного еквіваленту міді”.

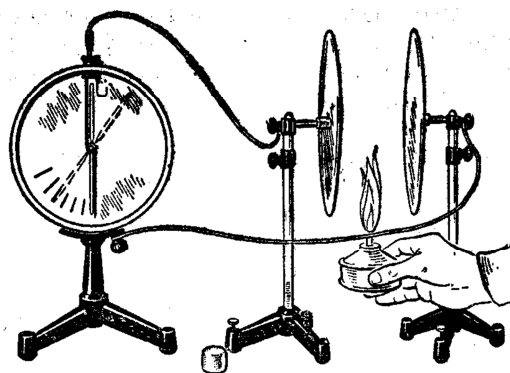
Завдання I. Опрацювати відповідний навчальний матеріал за шкільними і вузівськими підручниками.

Завдання II. Набути умінь та навичок у виконанні таких демонстрацій:

1. Розряд електрометра під дією зовнішнього іонізатора – полум'я

Обладнання: конденсатор розбірний на ізольованих штативах, перетворювач високовольтний або електрофорна машина, ебонітова і скляна палички, шматок хутра, спиртівка.

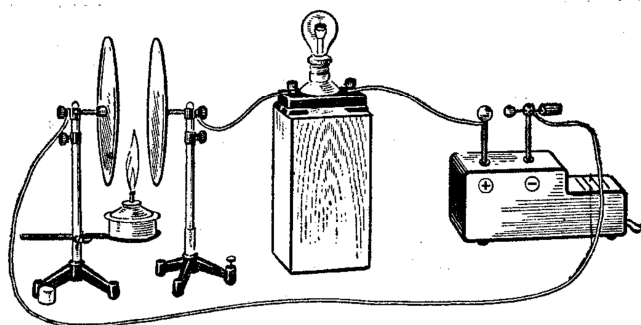
Спочатку показують, що гази в природному стані не проводять електричний струм. Для цього пластини конденсатора з'єднують з електрометром і заряджають його. Спостерігають, що заряд електрометра досить довго зберігається незмінним. Після цього вносять в газовий простір між пластинами конденсатора полум'я спиртівки – електрометр швидко розряджається (мал. 1). В продуктах згоряння утворюється велика кількість іонів, яка і



Мал. 1

викликає провідність повітря.

2. Несамостійна провідність повітря



Мал. 2

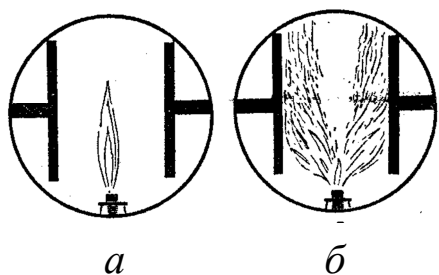
Обладнання: конденсатор розбірний на ізольованих штативах, перетворювач високовольтний, лампа неонова, спиртівка.

Якщо в іонізованому газі створити електричне

поле, то поряд із безладним тепловим рухом виникає напрямлений, впорядкований рух іонів, тобто електричний струм. При цьому позитивні іони рухаються в напрямку поля, а негативні – в протилежну сторону.

Для виявлення електричного поля в іонізованому повітрі складають установку (мал. 2). Пластинки конденсатора встановлюють на відстані приблизно 10 см одна від одної і до них через неонову лампу підключають високовольтний перетворювач.

Перед початком досліду поступово подають таку напругу на пластинки конденсатора, щоб



Мал. 3

утворилось слабе свічення неонові лампи, помітне тільки вчителю. Звертають увагу учнів, що струм в колі відсутній.

Потім обережно підносять знизу полум'я і спостерігають, як неонові лампа починає світитись. Збільшують

полум'я і помічають яскравіше свічення неонові лампи.

Після цього вимикають із кола неонову лампу, а пластини конденсатора з'єднують безпосередньо з високовольтним перетворювачем, встановлюють освітлювач для тіньової проекції і одержують на екрані чітке зображення полум'я спиртівки і висхідних потоків гарячих газів (мал. 3 а).

Подаючи поступово напругу на пластини спостерігають, як полум'я і гарячі потоки газів розщеплюються в напрямку до електродів (мал. 3 б), виявляючи наявність позитивних і негативних зарядів.

3. Іскровий розряд і електроіскрова обробка металів

Обладнання: перетворювач високовольтний або електрофорна машина, прилад для демонстрації електроіскрової обробки металів, проекційний апарат, батарея конденсаторів, реостат на 200 Ом, з'єднувальні провідники.

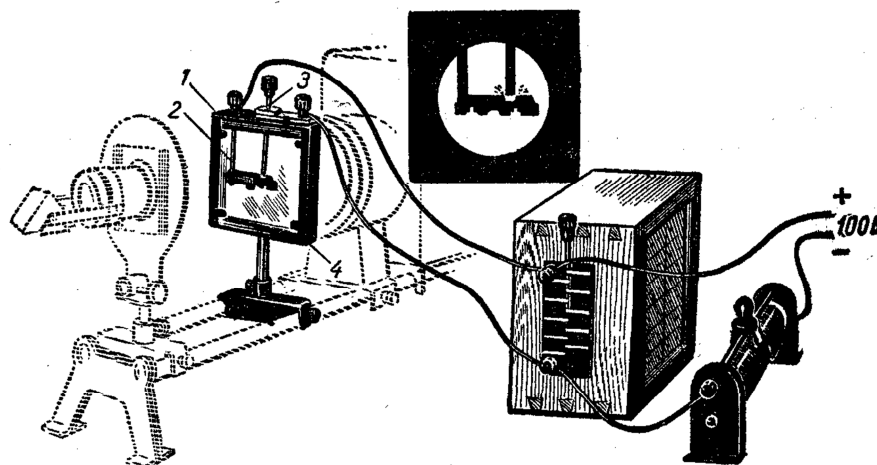
Іскровий розряд учні спостерігали неодноразово. Але приступаючи до його вивчення, необхідно продемонструвати це явище за допомогою електрофорної машини або високовольтного перетворювача. Щоб збільшити інтенсивність іскри і викликані нею ефекти, корисно збільшити ємність в іскровому проміжку, підключивши між електродами високовольтного перетворювача конденсатор, наприклад, 390 нФ, 15 кВ.

З іскрою можна показати загальновідомі досліди: пробивання дірок в папері, спалах вати, змоченої ефіром і т. д.

Демонстрацію електроіскрової обробки металу проводять на простому приладі, проектуючи його на екран (мал. 4).

Прилад представляє собою колодку із пластмаси 1 з двома латунними електродами 2-3, які вставляються в кювету 4. Електрод 2 служить анодом; він зверху має затискач, а знизу – оброблювану деталь – лезо безпечної бритви. Електрод 3 (катод), розміщений посередині у вигляді круглого стержня з різьбою на верхньому кінці. Цей електрод з'єднаний з другим затискачем і виконує роль інструмента при обробці виробу.

В кювету наливають спирт, гас, машинне масло або дистильовану воду і вставляють колодку приладу. При цьому обидва електроди повинні знаходитись в рідині. Кювету встановлюють в рейтері проекційного апарату перед конденсором з оборотною призмою,



Мал. 4

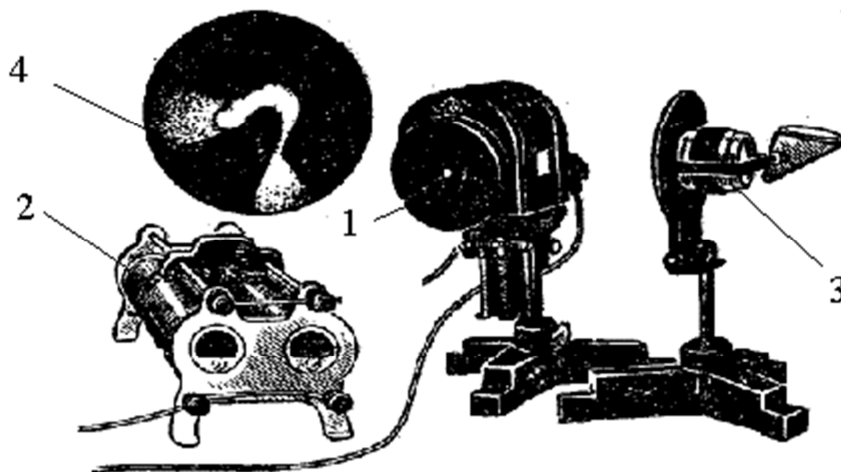
одержуючи на екрані чітке пряме зображення предмета.

Вмикають напругу. Найбільш сприятливі умови для досліду створюються при 60-100 В постійного струму і ємності 60 мкФ. Реостат в роботі приладу не відіграє суттєвої ролі. Він введений в коло для обмеження струму в момент дотику електродів.

Повертають головку катода за годинниковою стрілкою до з'єднання його з верхнім краєм леза бритви, після чого повертають її в зворотному напрямку. При цьому між електродами проскакує іскра. Поворотом головки катода добиваються частих іскрових розрядів, які супроводжуються гучним тріском. Катод поступово заглиблюється і перерізає бритву.

4. Ознайомитися з методикою і технікою проведення демонстрації „Дуговий розряд”

Обладнання: дугова лампа на штативі, об'єktiv від проекційного апарата на штативі, реостат 20 Ом, 10 А, джерело живлення.

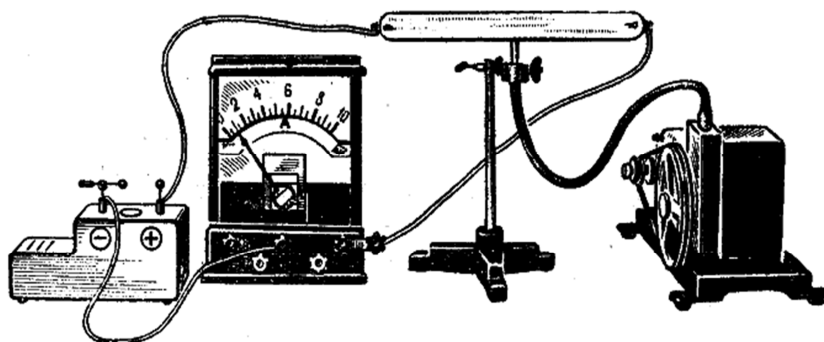


Мал. 7

Збирають коло, в якому послідовно з'єднані джерело живлення, електрична дуга 1, реостат 2 і об'єktiv 3 (мал. 5). Реостатом спочатку вмикають максимальний опір. Прилади встановлюють на демонстраційному столі та між дугою і учнями встановлюють непрозорий екран. На штативі закріплюють об'єktiv від проекційного ліхтаря, щоб проектувати дугу на екран. Вмикають джерело і з'єднують стержні. Коли в місці контакту стержні розжарюються їх поступово розводять і зменшують опір. В результаті отримують зображення 4.

6. Самостійний розряд в газах при зниженому тиску

Двоелектродну трубку з приєднаним шлангом від насоса закріплюють в лапці штативу, послідовно вмикають гальванометр



Мал. 8

(мал. 8). Спочатку показують, що повітря при нормальному тиску не проводить струму. Потім при зниженні тиску в трубці у колі виникає електричний струм.

7. Порівняти електропровідність води і розчину солі

Скласти коло з електричної лампочки, джерела живлення, електродів. Помістити два електроди під напругою в чисту воду, а потім в розчин солі. Спостерігати за яскравістю свічення лампочки і зробити відповідні висновки.

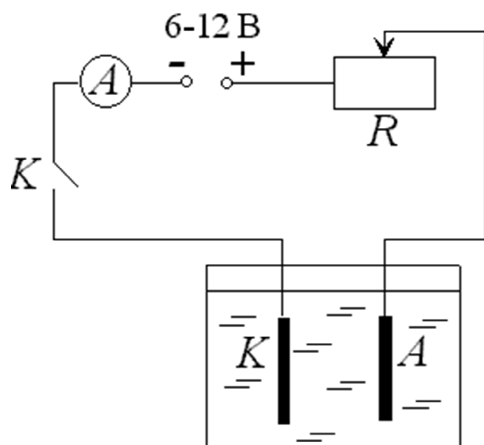
Завдання III. Виконати лабораторну роботу, додержуючись методичних вимог, що до оформлення її письмового звіту.

Визначення заряду електрона

Мета роботи: навчитися застосовувати закон Фарадея для електролізу для визначення елементарного електричного заряду.

Обладнання: склянка з водним розчином сульфату міді (CuSO_4); мідні електроди; джерело постійного струму; секундомір або годинник з секундною стрілкою; амперметр постійного струму на 1...2 А; терези з важками; реостат з ковзним контактом; ключ; з'єднувальні провідники.

Хід роботи:



Мал. 9

1. Зважте катод і визначіть початкову масу катода m_1 .

Закріпіть електроди в тримачі і складіть електричне коло згідно мал. 9

2. Опустіть електроди в склянку з розчином, замкніть ключ і встановіть за допомогою реостату R силу струму в колі не більше від 1 А. Процес електролізу має тривати 15 - 20 хв, при цьому силу струму в колі треба підтримувати незмінною за допомогою

реостата.

- Після завершення досліду розімкніть вимикач, вийміть мідний катод, обережно висушіть його і визначіть масу m_2 .
- Обчисліть значення заряду електрона за формулою

$$e = \frac{M}{(m_2 - m_1) \cdot N_A}.$$

5. Визначіть похибки вимірювань сили струму, часу і маси та обчисліть похибки вимірювання заряду електрона.
6. Дані вимірювань і обчислень запишіть у таблицю .

Таблиця

I, A	$\Delta I, A$	t, c	$\Delta t, c$	$m_1, кг$	$m_2, кг$	$\Delta m, кг$	$e, Кл$	$\epsilon_e, \%$	$\Delta e, Кл$

7. Запишіть результат визначення заряду електрона у вигляді: $e \pm \Delta e; \epsilon = \dots \%$. Порівняйте одержане значення заряду електрона з табличним.
8. Зробіть висновок.

Лабораторна робота № 24

Електричний струм у напівпровідниках

Мета: оволодіти методикою і технікою проведення демонстрацій з теми „Електричний струм у напівпровідниках”. Виконати роботи, передбачені програмою.

Завдання I. Опрацювати відповідний навчальний матеріал за шкільними і вузівськими підручниками.

Завдання II. Набути умінь та навичок у виконанні таких демонстрацій:

1. Залежність електропровідності напівпровідників від температури

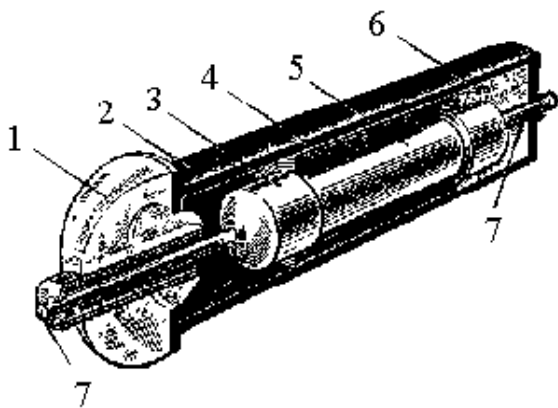
Обладнання: термістор ММТ-4 на підставці, лабораторний прилад з термістором ММТ-1, гальванометр демонстраційний від амперметра, батарея акумуляторів, вимикач, спиртівка, з'єднувальні провідники, склянка зі снігом або холодною водою, навчальна таблиця „Термістор”.

Перед демонстрацією досліду учнів знайомлять із будовою термістора ММТ-4 (мал. 1). Букви *ММ* означають напівпровідниковий матеріал, з якого зроблений термістор (окиси марганцю і міді); *T* – термістор; *4* – умовне позначення конструктивного оформлення.

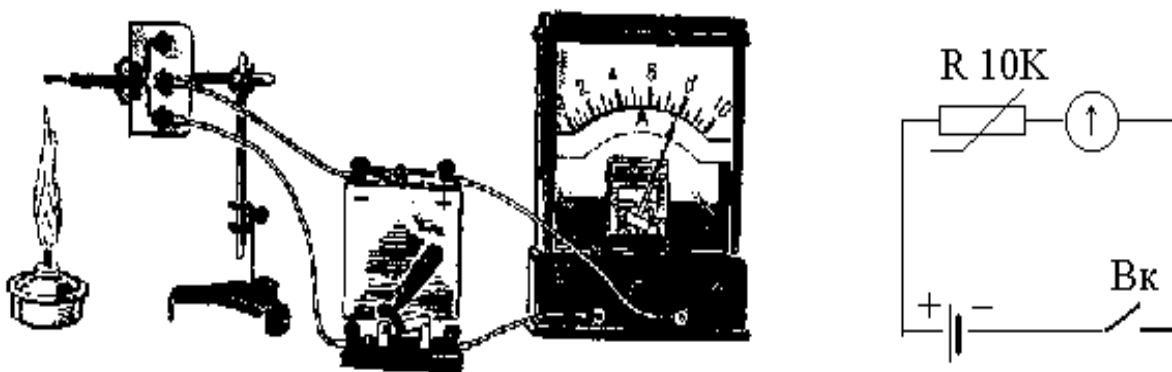
Термістор має форму циліндричного стержня 5 довжиною 12 мм і діаметром 2 мм, на кінцях якого знаходяться контактні ковпачки 3 з виводами із мідного дроту 7. Поверхня стержня покрита шаром емалевої фарби й обгорнута металевою фольгою 4, яка покращує теплообмін між термістором і навколишнім середовищем. Один вивід термістора припаяний оловом 6 до дна металевого корпуса 2, а інший – проходить у трубочці, яка вварена в скляний ізолятор 1.

Герметизація термістора забезпечує його стійку роботу в умовах підвищеної вологості, безпосередньо в рідинах.

Збирають установку, показану на мал. 2, термістор фіксують на підставці в горизонтальному положенні і включають в електричне коло послідовно з демонстраційним гальванометром, джерелом живлення (напругою близько 4 В) і вимикачем.



Мал. 1



Мал. 2

При замиканні кола гальванометр покаже невеликий струм: його стрілка відхилиться приблизно на 2 поділки шкали „0-10”.

Величина цього струму залежить (за законом Ома) від напруги джерела струму і початкового, так званого холодного, опору термістора, тобто його опору при кімнатній температурі. Після цього термістор повільно нагрівають над полум'ям спиртівки (полум'я не повинне торкатися приладу) і спостерігають поступове збільшення струму. Коли стрілка гальванометра буде підходити до останніх поділок шкали, нагрівання припиняють.

Далі показують зворотний процес – охолодження термістора: знімають термістор з штатива і занурюють у склянку зі снігом або холодною водою. Стрілка гальванометра буде швидко переміщатися в зворотну сторону і через якийсь час зупиниться майже біля нуля шкали.

Пророблений дослід дозволяє зробити висновок, що опір напівпровідників з підвищенням температури зменшується і навпаки, зі зниженням температури збільшується. Електропровідність напівпровідників при високих температурах близька по величині до електропровідності металів, а при низьких – напівпровідники фактично стають ізоляторами.

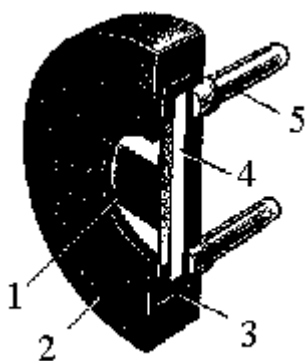
2. Залежність електропровідності напівпровідників від освітленості

Обладнання: фоторезистор ФС-К1 на підставці, гальванометр демонстраційний від амперметра, джерело живлення, електрична лампа на підставці потужністю 60-100 Вт, з'єднувальні провідники, навчальна таблиця „Фоторезистор”.

Перед демонстрацією досліду познайомитись з будовою напівпровідникового фоторезистора ФС-К1, який зображений у перерізі (мал. 3).

Фоторезистор являє собою тонкий світлочутливий шар напівпровідника, що складається із сірчистого кадмію, нанесеного на круглу ізолюючу пластинку 4, краї якої запресовані в кільцеподібну пластмасову оправу 2. З протилежних сторін напівпровідникового шару зроблені струмовідводи 3, що з'єднані з двома запресованими в оправу електродами у вигляді вилки 5. Його поверхня покрита прозорим лаком для захисту напівпровідникового шару від забруднення й атмосферного впливу.

Потім збирають установку за мал. 4. Фоторезистор ФС-К1 включають у коло джерела постійного струму напругою близько 4 В послідовно з демонстраційним гальванометром від амперметра. Звертають увагу на малу величину початкового струму. Цей струм називають темновим. Він залежить від електричного опору, яким володіє фоторезистор, і від прикладеної до нього напруги.



Мал. 3

Далі вмикають електричну лампу і, повільно наближаючи і віддаляючи її від фоторезистора, спостерігають збільшення і зменшення струму в колі. Роблять висновок, що опір напівпровідників при збільшенні освітленості зменшується.

Повертаються до демонстраційної установки і при постійній освітленості змінюють полярність включення фоторезистора в електричне коло. При цьому спостерігають, що величина струму залишається незмінною.

Роблять висновок, що фоторезистор однаково добре проводить струм як в одному, так і в іншому напрямку. Він являє собою в електричному відношенні звичайний високоомний резистор.

Завдання III. Виконати лабораторні роботи, додержуючись методичних вимог, що до оформлення їх письмового звіту:

1. Зняття вольт-амперної характеристики напівпровідникового діода

Мета роботи: дослідити залежність сили струму від напруги, яка прикладена до напівпровідникового діода.

Обладнання: діод напівпровідниковий, джерело живлення, міліамперметр, амперметр, вольтметр 0-1,5 В, вольтметр 0-6 В, реостат повзунковий РПШ-2, ключ, комплект провідників.

Послідовність виконання роботи:

а) Дослідження залежності сили прямого струму від прикладеної напруги

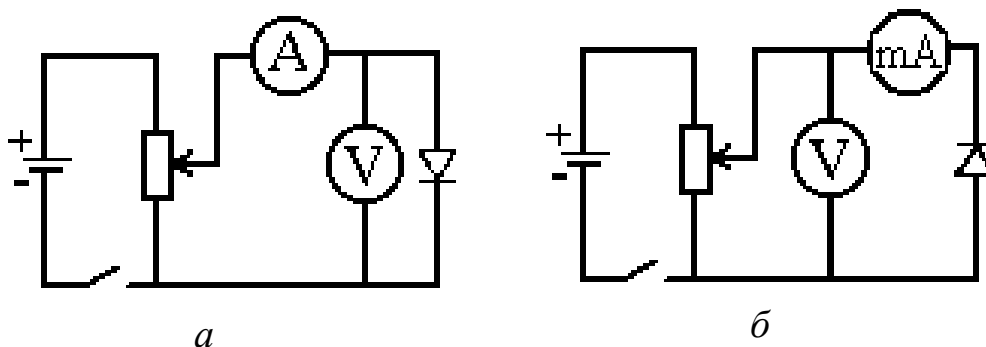
1. За схемою (мал. 4 а) зберіть електричне коло (діод увімкніть в пропускному напрямі), звернувши увагу на знаки $<+>$ і $<->$, позначені на його панелі. Напругу на діод подають з потенціометра і вимірюють вольтметром зі шкалою 1,5 В, силу прямого струму діода – амперметром, збільшуючи напругу на діоді.

2. Результати вимірювань записують в таблицю.

$U, В$											
$I, мА$											

б) Дослідження залежності сили зворотного струму від прикладеної напруги

1. За схемою (на мал. 4 б) скласти електричне коло. Напругу на діод подають за допомогою потенціометра і вимірюють вольтметром зі шкалою 6 В, а силу струму – міліамперметром зі шкалою 1,5 мА. Збільшуючи напругу, виміряйте силу зворотного струму діода.



Мал. 4

Результати вимірювання записати в таблицю.

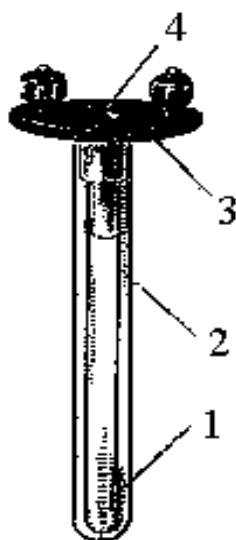
U, V												
I, mA												

2. За даними будують графік залежності сили струму від напруги. Силу прямого струму і пряму напругу вважають додатними, а зворотні – від’ємними.

Висновок:

2. Зняття температурної характеристики терморезистора

Обладнання: терморезистор, металевий стакан з водою, електроплитка, технічний термометр, омметр, штатив з муфтою і лапкою, з’єднувальні провідники.



Мал. 17

Опис приладів

Терморезистор (мал. 17) виготовляють із спресованої і термічно обробленої суміші порошків металів у вигляді циліндричного стержня 1. На кінцях стержня є металеві ковпачки, до яких припаяні мідні дротини. Бічна поверхня терморезистора вкрита емалевою фарбою.

Виводи від терморезистора закріплені на панельці 4 під затискачами. Панелька скріплена з пробіркою, у якій міститься терморезистор.

У панельці є також отвір для технічного термометра.

Послідовність виконання роботи:

1. Визначити і записати характеристики омметра і термометра.

2. Поставити на електроплитку металевий стакан з водою, занурити в нього пробірку з терморезистором, попередньо закріпивши її в лапці штативу. В отвір у панельці приладу вставити технічний термометр так, щоб його ртутний балон був якраз на рівні терморезистора.

3. До затискачів на панельці приєднати на весь час досліду омметр. Виміряти температуру і опір терморезистора при кімнатній температурі. Потім увімкнути електроплитку і з підвищенням температури через кожні $5^{\circ}C$ вимірювати опір терморезистора.

4. Результати вимірювання записати в таблицю.

t°, C									
$R, Ом$									

5. Побудувати графік залежності опору терморезистора від температури.

Висновки:

Лабораторна робота № 25

Магнітне поле

Мета: оволодіти методикою і технікою проведення демонстрацій з теми: „Магнітне поле”. Виконати роботи, передбачені програмою.

Завдання I. Опрацювати відповідний навчальний матеріал за шкільними і вузівськими підручниками.

Завдання II. Набути умінь та навичок у виконанні таких демонстрацій:

1. Взаємодія паралельних струмів

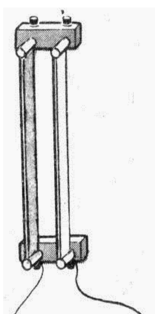
Обладнання: стрічка із фольги з наконечниками – 2 шт., штатив універсальний, джерело живлення ВС-24, комплект з'єднувальних провідників.

В даному досліді для одержання належного ефекту необхідні гнучкі і легкі провідники, які разом з тим повинні витримувати достатньо сильний струм. В протиріччі до цих вимог і полягає деяка складність при проведенні досліду.

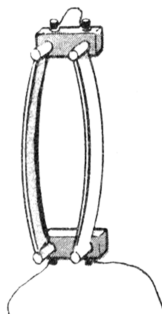
Непогані результати можна одержати, якщо використати стрічки із алюмінієвої фольги, яка іде на виготовлення паперових конденсаторів (наприклад, КБГ). Фольгу від рулону, вийнятого з коробочки конденсатора, звичайно розгортають разом з папером, що пристав до неї. Потрібно, не відриваючи папір, відрізати від фольги дві вузькі стрічки шириною 10 мм і довжиною 50 см. Шар паперу між двома стрічками із фольги надасть їм більшої міцності.

Кінці кожної стрічки закріплюють в наконечники і встановлюють вертикально на універсальному штативі. Такі стрічки витримують короткочасний струм до 8 А.

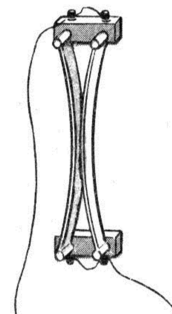
Стрічки не потрібно натягувати. Злегка згинаючи, їх наближають на відстань 0,5-1 мм і кінці приєднують до випрямляча через реостат і



а



б



в

Мал. 1

ключ. При ввімкненні струму в межах $5-8\text{ А}$ стрічки відштовхуються (мал. 1 а), а при вимкненні – знову зближуються. Якщо струми в провідниках будуть мати один напрямок, то вони притягуються (мал. 1 в).

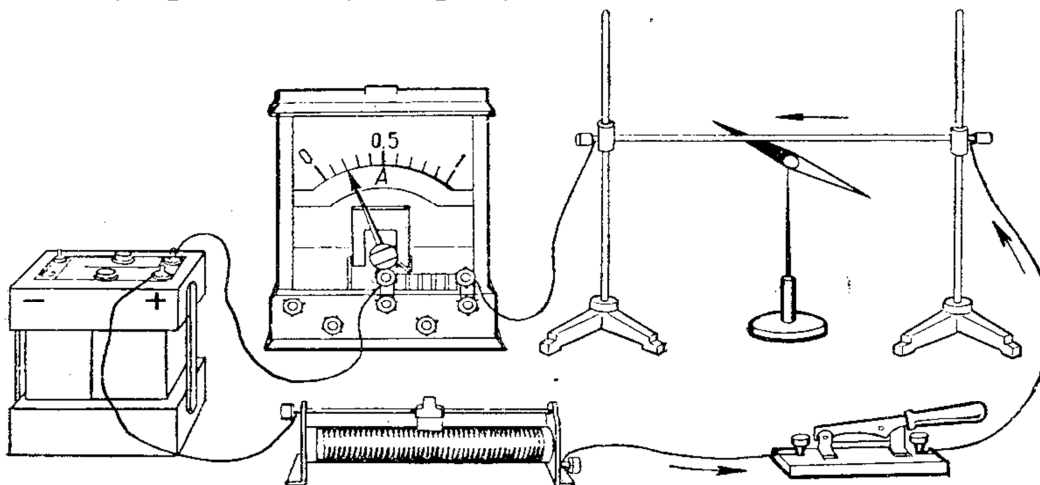
При проведенні досліду не вмикати струм на тривалий час.

2. Дослід Ерстеда

Обладнання: стрілка магнітна демонстраційна на підставці, реостат повзунковий на 20 Ом , з'єднувальні провідники, штативи і підставки для підвішування й закріплення провідників, випрямляч В-24, ключ, магніти прямі – 2 шт., амперметр демонстраційний.

Послідовно з'єднують джерело електричної енергії, реостат, ключ і амперметр (мал. 2). Прямий провідник встановлюють на штативи, а під ним – магнітну стрілку на підставці. Провідник і стрілку розміщують вздовж демонстраційного стола. Якщо стрілка не встановлюється, то її потрібно повернути за допомогою двох прямих магнітів.

Замикають електричне коло, сила струму в колі повинна становити $1-2\text{ А}$. Стежать за відхиленням північного полюса стрілки. Змінюють напрям струму на протилежний. Північний полюс стрілки відхиляється у протилежну сторону.



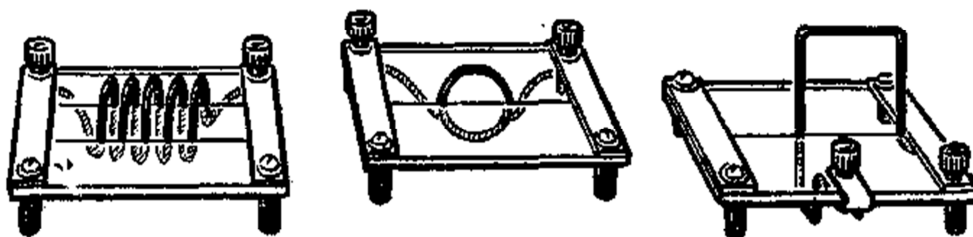
Мал. 2

3. Спостереження спектрів магнітних полів

Обладнання: прилади для проектування спектрів магнітного поля струму, коробочка-сито із залізними ошурками, кодоскоп, джерело живлення, з'єднувальні провідники, лист паперу.

Починаючи в старших класах поглиблене вивчення магнітного поля струму, варто нагадати учням про розташування ліній індукції магнітного поля струму в залежності від форми провідника.

Для цього найбільш доцільним є метод проектування, що забезпечує швидкість підготовки досліду і найкращу видимість. Для одержання магнітних полів можна скористатися приладами, які являють собою квадратні панельки із органічного скла з дротяними контурами

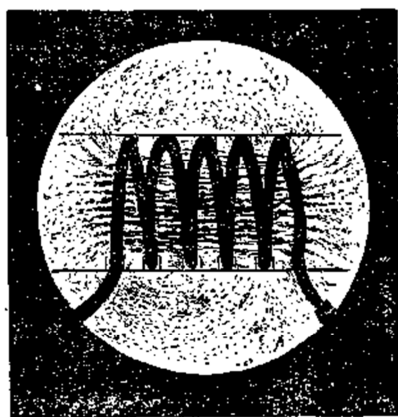


Мал. 3

(прямий провідник, круговий виток і соленоїд) (мал. 3).

Ці прилади живляться від джерела постійного струму з напругою приблизно 4 В . При цьому сила струму в провіднику досягає 2 А . Це забезпечує одержання чіткої картини магнітного спектра.

Один з таких приладів установлюють на кодоскоп, і рівномірно посипають невеликою кількістю дрібних залізних ошурок, отримуючи при цьому чітке зображення на екрані.



Мал. 4

Після ввімкнення електричного струму, частина ошурок, переборюючи тертя, під дією магнітного поля, розміщується вздовж ліній магнітної індукції й утворюють наочну картину поля. Якщо при цьому злегка постукати по панельці, то ошурки струшуються і картина стає більш чіткою (мал. 4). Не слід стукати занадто сильно і довго: це приведе до сповзання ошурок і спотворення зображення.

Після закінчення демонстрації прилад знімають і ошурки зсипають спочатку на лист паперу, а потім у коробочку.

Можна в описаному вище досліді скористатися і більш простими приладами з контурами з товстого одинарного дроту (діаметром близько 3 мм). Для такого приладу буде потрібне джерело, яке зможе дати струм близько 30 А . Таким джерелом струму може бути акумулятор досить великої ємності або універсальний трансформатор з котушкою для електрозварювання.

Завдання III. Виконати лабораторну роботу, додержуючись методичних вимог, що до оформлення її письмового звіту:

Визначення індукції магнітного поля постійного магніту

Мета: навчити учнів визначати індукцію магнітного поля постійного струму за допомогою ампер-терезів.

Обладнання: підковоподібний магніт, джерело струму, амперметр, ампер-терези, набір гирьок, лінійка, з'єднувальні провідники.

Для визначення індукції магнітного поля постійного підковоподібного магніту запропоновані саморобні ампер-терези (мал. 5).

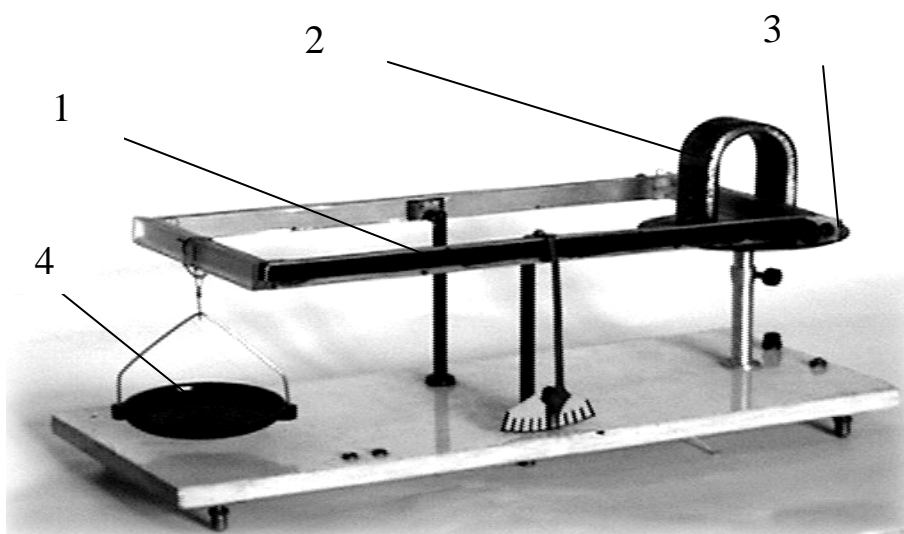
Вони складаються з рамки *1* на яку намотано 200 витків дроту, столика *3*, підковоподібного магніту *4*. Рамка встановлена на дві стійки і зрівноважена за допомогою регулювальних гвинтів.

При проходженні електричного струму на провідник, що знаходиться у магнітному полі підковоподібного магніту діє сила Ампера, яку можна визначити зрівноважуючи рамку. Таким чином: $F_A = F_T = mg$. Згідно закону Ампера:

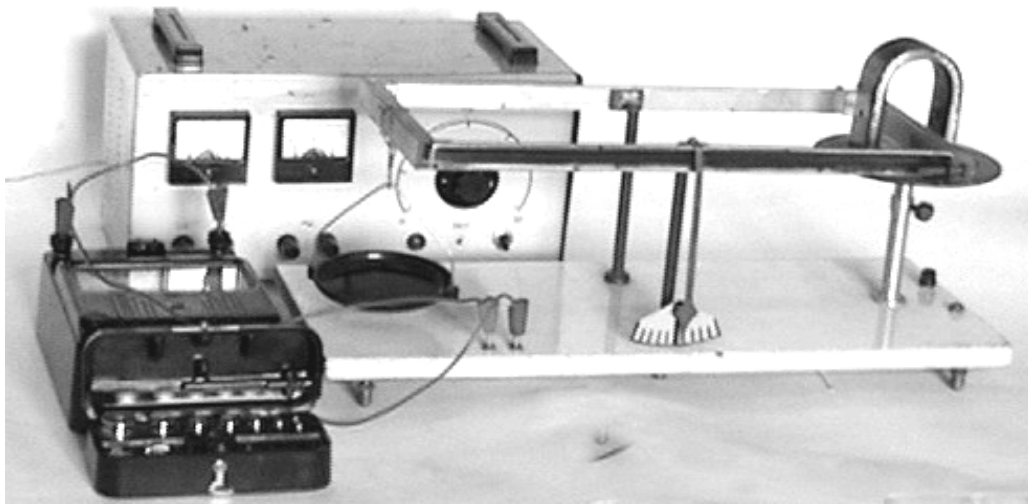
$$F_A = B I \Delta l \sin \alpha, \quad (1)$$

де B – індукція магнітного поля, I – сила струму, Δl – активна довжина провідника, α – кут між лініями індукції магнітного поля і провідником.

Індукція магнітного поля:



Мал. 5



Мал. 6

$$B = \frac{F_A}{I \Delta l \sin \alpha} \quad (2)$$

Якщо $\alpha = 90^\circ$, то $\sin \alpha = 1$, $\Delta l = nb$, де n – кількість витків, b – ширина магніту. Тоді:

$$B = \frac{mg}{Inb} \quad (3)$$

Порядок виконання роботи:

1. За допомогою регулювальних гвинтів зрівноважити рамку.
2. Виміряти ширину магніту b і встановити його на столик.
3. Скласти електричне коло, з'єднавши послідовно джерело струму, амперметр і рамку (мал. 6).
4. На шальку ампер-терезів покласти гирьку, наприклад 3 г.
5. Змінюючи силу струму зрівноважити ампер-терези.
6. Проробити аналогічні виміри змінюючи масу на шальці ампер-терезів.
7. Проробити аналогічні виміри для другого магніту, і для обох разом.
8. Результати вимірювань занести в таблицю.

Для першого магніту:

№ п/п	n	$b, \text{ м}$	$m, \text{ кг}$	$I, \text{ А}$	$B, \text{ Тл}$
1					
2					
3					
Сер.					

Для другого магніту:

№ п/п	n	$b, м$	$m, кг$	$I, А$	$B, Тл$
1					
2					
3					
Сер.					

Для двох магнітів:

№ п/п	n	$b, м$	$m, кг$	$I, А$	$B, Тл$
1					
2					
3					
Сер.					

Висновок:

Лабораторна робота № 26

Електромагнітна індукція

Мета: оволодіти методикою і технікою постановки демонстрацій з теми „Електромагнітна індукція”. Виконати лабораторні роботи, передбачені шкільною програмою.

Завдання I. Опрацювати відповідний навчальний матеріал за шкільними і вузівськими підручниками.

Завдання II. Набути умінь та навичок у виконанні таких демонстрацій:

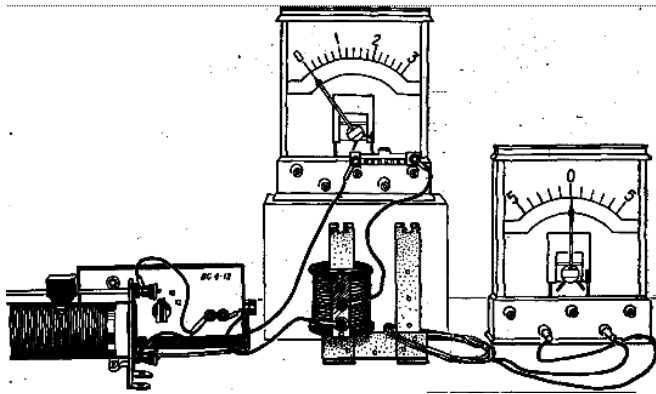
1. Явище електромагнітної індукції

Обладнання: демонстраційний гальванометр (від вольтметра), підковоподібний магніт, дві котушки універсального трансформатора (на 120 В), джерело живлення, універсальний штатив з муфтою і лапкою, з'єднувальні провідники.

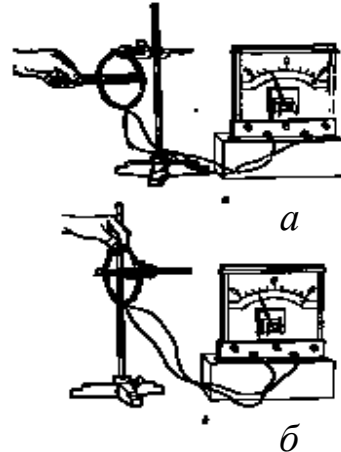
Досліди проводити у такій послідовності:

1. Котушку універсального трансформатора (на 120 В) приєднують до демонстраційного гальванометра. Магніт вводять всередину котушки. Стрілка гальванометра відхиляється. Звертають увагу на те, що коли магніт нерухомий відносно котушки, стрілка гальванометра залишається в спокої. Виймають магніт з котушки (мал. 2 а). В ньому збуджується індукційний струм зворотного напрямку.

2. Дослід видозмінюють: переміщують котушку відносно магніту (мал. 2 б).



Мал. 1



Мал. 2

Відхилення стрілки гальванометра в цих дослідах свідчить про виникнення в котушці струму, що в цих умовах можна пояснити лише появою електричного поля. Оскільки в пророблених дослідах змінювалося лише магнітне поле, можна припустити, що причиною виникнення індукованого електричного поля є зміна магнітного поля.

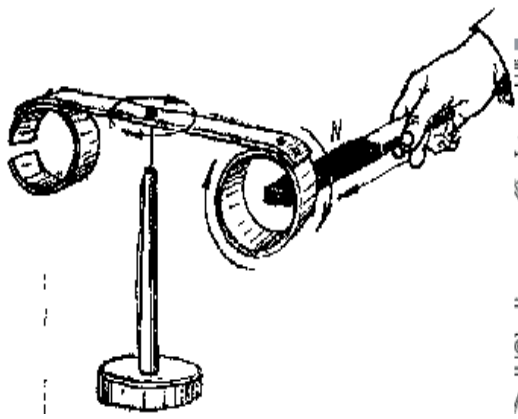
3. Для того, щоб експериментально перевірити зроблене вище припущення, складають установку за мал. 1. Котушку універсального трансформатора (на 120 В) через реостат з'єднують з джерелом струму.

Під час ввімкнення і вимкнення, змінюючи реостатом силу струму, переміщуючи котушки одна відносно іншої спостерігаємо виникнення індукційного струму.

Підводять учнів до розуміння того, що зміни сили струму в котушці спричиняють зміну магнітного потоку, який пронизує контур. Отже, дослід підтверджує припущення, що причиною виникнення індукованого електричного поля є зміна магнітного поля.

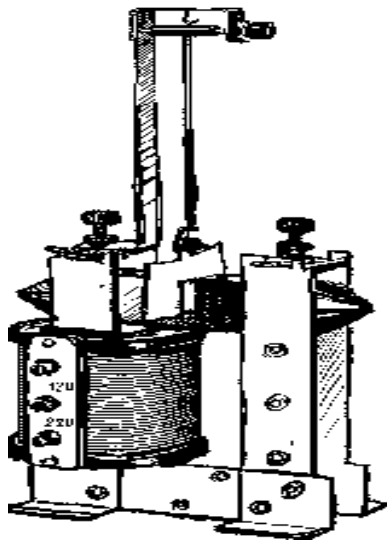
2. Правило Ленца

Напрямок індукційного струму в усіх випадках електромагнітної індукції можна визначити за правилом, установленим російським вченим Е.Х. Ленцом. Це правило можна перевірити на одному з таких дослідів.



Мал. 3

Прилад Петровського для демонстрування правила Ленца, складається з двох алюмінієвих кілець, одне з яких має поперечний розріз. Кільця приклепані до алюмінієвої пластинки. В центрі пластинки закріплено опорний підшипник який надівають на вістря голки (мал. 3).



Мал. 4

Для демонстрування прилад встановлюють на підйомному столику. У суцільне кільце швидко вставляють постійний магніт. Кільце відштовхується від магніту. Притримують кільце рукою і вставляють в нього магніт.

Потім швидко виймають магніт, спостерігаючи, як кільце притягується до магніту. Повторюють дослід з розрізаним кільцем і переконуються, що кільце не реагує на рух магніту.

3. Індукція в суцільних провідниках

а) Обладнання: трансформатор універсальний, джерело живлення, з'єднувальні провідники.

На осердя універсального трансформатора надівають котушку 220/120 В; на кінці осердя накладають полюсні наконечники плоскими кінцями один до одного. Під гайку одного з гвинтів, якими кріпляться наконечники, ставлять стояк з маятником, у вигляді суцільної алюмінієвої пластинки так, щоб зазори між нею і полюсними наконечниками були якомога менші, але маятник міг вільно коливатися (мал. 4). Обмотку котушки на 220 В приєднують до клем постійного струму випрямляча ВС-24М, на якому регулятором встановлюють максимальну вихідну напругу (30 В).

Маятник приводять у рух і в момент вмикання струму спостерігається різке гальмування коливань. Замінивши суцільну

пластинку маятника пластинкою з поперечними розрізами, спостерігають, що маятник коливається з незначним затуханням.

Прилад на столі встановлюють так, щоб маятник коливався в площині, паралельній рядам парт.

Гальмування суцільного маятника пояснюють виникненням в ньому індукційного струму, який, за правилом Ленца, своїм магнітним полем перешкоджає руху маятника.

Це явище використовують у деяких типах електровимірювальних приладів для швидкого припинення коливань стрілок. Так, наприклад, в електровимірювальних приладах магнітоелектричної системи, каркас рамки виготовляють з алюмінію. Коли виникають коливання, в каркасі створюється індукційний струм, який своїм магнітним полем гальмує коливання рамки.

б) Обладнання: прилад для демонстрування вихрових струмів і принципу дії спідометра, відцентрова машина.

Для демонстрування вихрових струмів і принципу дії спідометра промисловість випускає спеціальний прилад (мал. 5), куди входить легенький алюмінієвий диск 1, який обертається в підшипниках з дуже малим тертям. На диску кріплять спіральну пружину 2, вільний кінець якої можна закріпити на обоймі 3. Для цього обойма має спеціальний гачок. Щоб обертання диска було помітним, на ньому з обох боків червоною фарбою нанесено трикутну мітку.

Щоб продемонструвати вихрові струми, в шпинделі відцентрової машини закріплюють дугоподібний магніт (він входить у комплект приладу). До полюсів магніту наближають диск. Відстань між диском і полюсами магніту має бути якомога меншою. Привівши в обертання магніт, спостерігають обертання (в той самий бік) диска. Для усунення дії внутрішнього тертя в повітряному проміжку між диском і магнітом, поміщають листок тонкого картону. Спеціальним затискачем кріплять його на обоймі приладу.

Щоб показати принцип дії автомобільного спідометра, вільний кінець пружини насаджують на гачок обойми. Тепер обертання диска обмежено пружиною, і диск може здійснювати лише крутильні коливання.

Привівши в обертання магніт, демонструють залежність кута повороту диска від швидкості обертання магніту. Отже, за кутом повороту диска можна судити про швидкість обертання магніту.

в) **Обладнання:** відцентрова машина, магніт дугоподібний з віссю для обертання у відцентровій машині, диск алюмінієвий або мідний (діаметром $15...20\text{ см}$), підвішений на нитках, кусок скла, штатив з муфтою, стержень з гачком.

Сильний дугоподібний магніт будь-яким способом закріплюють на осі для обертання у відцентровій машині (мал. 5). Над полюсами магніту до штатива підвішують мідний або алюмінієвий диск завтовшки $1,5...2\text{ мм}$. Магніт швидко обертають і демонструють обертання диска в той самий бік внаслідок виникнення в ньому індукційних вихрових струмів (струмів Фуко). Змінюють напрям обертання магніту і демонструють, що диск повільно зупиняється і, змінивши напрям, починає обертатися в той самий бік, що й магніт. Щоб в учнів не склалося враження, що диск обертається в результаті захоплення його повітряним потоком, викликаним рухомим магнітом, між магнітом і диском розміщують скляну пластинку. Ефект досліду при цьому не зменшується.

4. Принцип дії індукційної печі

Обладнання: трансформатор універсальний, вимикач демонстраційний, вода, з'єднувальні провідники.

На один із стержнів осердя універсального трансформатора надівають котушку на $220/120\text{ В}$, а на другий – алюмінієвий кільцевий жолоб у теплоізоляційній основі. Відповідну обмотку котушки з'єднують з мережею змінного електричного струму. У жолоб наливають воду. Коли замикають електричне коло, виникає змінне електричне поле, яке збуджує індукційний струм у жолобі, внаслідок чого, жолоб розігрівається і вода закипає і випаровується.

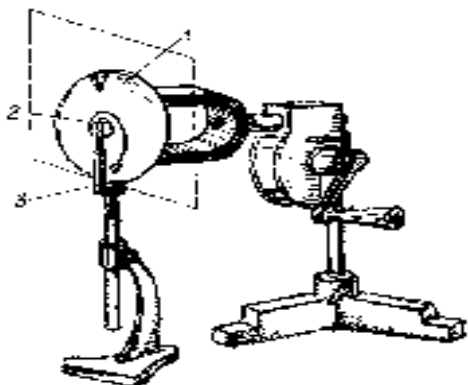
Цей дослід може бути ілюстрацією електричного плавлення металів.

5. Явище самоіндукції .

Самоіндукція під час замикання електричного кола.

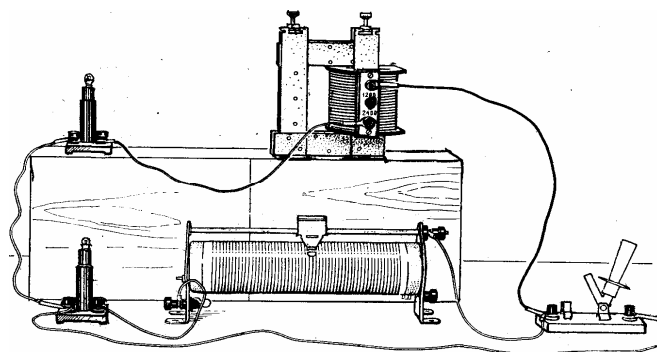
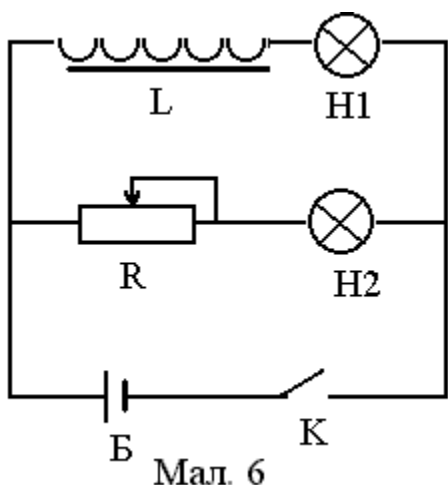
Обладнання: осердя від універсального трансформатора, дросельна котушка, реостат на 50 Ом ,

дві лампочки на підставках ($3,5\text{ В}$, $0,26\text{ А}$) , вимикач демонстраційний, джерело живлення, з'єднувальні провідники.



Мал. 5

Виникнення ЕРС самоіндукції під час замикання електричного кола можна спостерігати на досліді, який запропонував винахідник радіо О.С. Попов. Для досліду збирають установку за схемою (мал. 6). Як видно зі схеми, електричне коло складається з двох паралельних ділянок. В одній з них лампочку ввімкнено послідовно з котушкою на осерді, а в другій – послідовно з реостатом. Опір реостата заздалегідь треба підібрати так (він повинен дорівнювати активному опору котушки), щоб розжарення лампочок $H1$ і $H2$ було однакове. Вмикають живлення і спостерігають, що лампочка $H1$ засвічується приблизно на 1 с пізніше, ніж лампочка $H2$.



Слід мати на увазі, що в багатьох навчальних і методичних посібниках нечітке пояснення цього досліду призводить до формування неправильних уявлень про явище самоіндукції. Так, у навчальному посібнику „Фізика-10” запізнення в засвічуванні лампочки $H1$ пояснюють тим, що ЕРС самоіндукції в колі цієї лампочки велика. У „Методиці викладання фізики” та посібнику „Викладання фізики в 10 класі” говориться, що ЕРС самоіндукції виникає на обох ділянках кола, але на ділянці з лампочкою $H2$ „вона значно менша”. Обидва ці твердження помилкові. Не можна говорити, що на ділянці з котушкою виникає „велика” ЕРС, бо початкове (воно ж і максимальне) значення ЕРС самоіндукції (в цьому досліді!) визначається лише значенням напруги, прикладеної до ділянки кола, і не може його перевищувати. Отже, не можна говорити про „велику” чи „малу” ЕРС самоіндукції відносно напруги, прикладеної до ділянки кола.

Насправді ж, в момент замикання кола в обох ділянках кола (з котушкою і з реостатом) виникають вихрові електричні поля, які характеризуються ЕРС самоіндукції. Початкові значення цих ЕРС однакові і дорівнюють напрузі (з оберненим знаком), прикладеній до

ділянки кола. Напруженості вихрових електричних полів протилежні за напрямом напруженості поля, яке створює джерело постійного струму, а тому перешкоджають його наростанню. На ділянці кола з котушкою цей процес значно триваліший, ніж на ділянці з реостатом. Тому лампа *H1* засвічується пізніше за лампу *H2*.

реостат; R_2 – магазин опорів; L – досліджувана дросельна котушка, D – діод з малим діодним струмом, C – електролітичний конденсатор великої ємності.

Індуктивність котушки обчислюється за формулою:

$$L = \frac{R q}{\Delta I},$$

заряд $q = kN$, де $k = 4 \cdot 10^{-6} \frac{Кл}{под}$ – ціна поділки, а N – кількість поділок

гальванометром

Визначити індуктивність котушки з осердям та без осердя. Результати вимірювань та обчислень занести в таблицю.

Без осердя:

№ п/п	Кількість витків котушки	Опір котушки	Опір гальвано- метра	Опір магазину опорів	Загальний опір кола	Число поділок	Сила струму	Заряд	Індуктивність котушки
	N	$R_k, Ом$	$R_z, Ом$	$R_m, Ом$	$R = R_k + R_z + R_m$	N	I, A	$q = kN,$ $Кл$	$L, Гн$
1.	1200	13	385						
2.	2400	33	385						
3.	3600	46	385						

З осердям:

№ п/п	Кількість витків котушки	Опір котушки	Опір гальвано- метра	Опір магазину опорів	Загальний опір кола	Число поділок	Сила струму	Заряд	Індуктивність котушки
	N	$R_k, Ом$	$R_z, Ом$	$R_m, Ом$	$R = R_k + R_z + R_m$	N	I, A	$q = kN,$ $Кл$	$L, Гн$
1.	1200	13	385						
2.	2400	33	385						
3.	3600	46	385						

Лабораторна робота № 27

Механічні коливання

Мета: оволодіти методикою і технікою постановки демонстрацій з теми „Механічні коливання”. Виконати лабораторні роботи, передбачені шкільною програмою.

Завдання I. Опрацювати відповідний навчальний матеріал за шкільними і вузівськими підручниками.

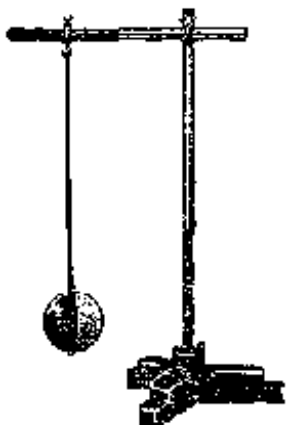
Завдання II. Набути умінь та навичок у виконанні таких демонстрацій:

1. Вільні коливання під дією сили тяжіння і сили пружності

Обладнання: пружини спіральні – 2 шт., куля із двома гачками, штатив універсальний, блок діаметром 25-50 мм в обоймі на стержні, нитка.

Для початкового ознайомлення з коливальним рухом можна обмежитися демонстрацією коливання тіла під дією сили тяжіння і сили пружності. Як тіло, зручно взяти кулю діаметром 50-70 мм із двома гачками, у якої одна половина поверхні біла, а друга – чорна.

Спочатку показують найпростішу коливальну систему – куляка на нитці, підвішена на Г-подібну стійку, зібрану з універсального штатива (мал. 1). Маятник відводять рукою від положення рівноваги,



Мал. 1

спостерігаючи вільні коливання. Учням роз'яснюють, що в будь-якій коливальній системі вільні коливання підтримуються тільки в результаті дії внутрішніх сил і інертності тіла.

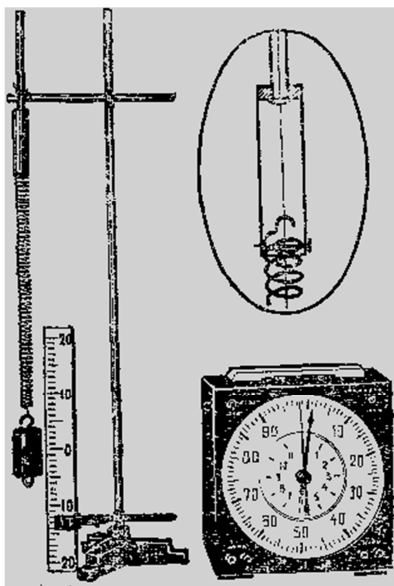
Спостерігаючи за коливаннями маятника, встановлюють, що енергія надана коливальній системі, поступово розсіюється в результаті чого амплітуда зменшується, і коливання зрештою припиняються (затухають).

Дослід показує, що вільні коливання є затухаючими.

2. Гармонічні коливання

Обладнання: спіральні пружини – 2 шт., гирі масою 1 і 2 кг, штатив універсальний, лінійка демонстраційна, секундомір демонстраційний, динамометр демонстраційний.

Для одержання повільних коливань збирають установку з вертикальним пружинним маятником (мал. 2).



Мал. 2

На вільний кінець пружини підвішують гирю 1 кг і розміщують шкалу так, щоб її нульова поділка була розташована на одному рівні із серединою нерухомої гирі. Поруч з маятником на стіл ставлять демонстраційний секундомір. Маятник приводять у коливання. Під час демонстрації вводять наступні поняття:

1. Період і частота коливань. При проходженні маятником одного з крайніх положень включають демонстраційний секундомір і вимірюють тривалість декількох повних коливань та знаходять час одного повного коливання, тобто період. Величину, обернену періоду, називають частотою

коливань.

2. Амплітуда коливань. Коли гиря знаходиться крайньому верхньому або нижньому положенні, її затримують рукою. Це найбільше відхилення коливального тіла від положення рівноваги називають амплітудою, а всі проміжні відхилення – зміщеннями.

Вимірюють амплітуду коливань за шкалою демонстраційної лінійки.

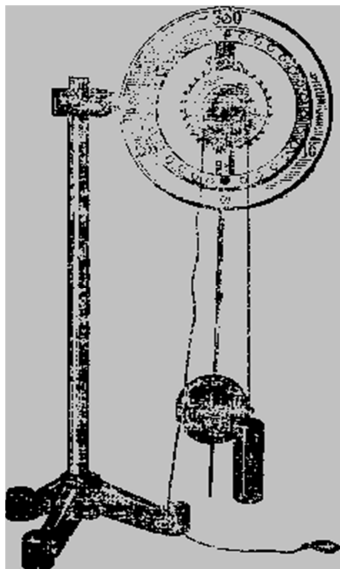
3. Швидкість і прискорення при коливаннях. Уважно спостерігаючи за повільними коливаннями тіла, встановлюють, що воно має максимальну швидкість у момент проходження положення рівноваги, рівну нулю в крайніх положеннях. Прискорення тіла досягає найбільшого значення в крайніх положеннях, коли його рух змінюється на протилежний, і дорівнює нулю, при проходженні положення рівноваги.

4 Фаза коливань. Продовжуючи спостереження за коливанням тіла, зазначають, що в різні моменти часу воно займає різні положення відносно рівноваги, які характеризуються відповідними зміщеннями і напрямками руху. Одне й те саме положення, крім крайніх, маятник проходить двічі протягом періоду: один раз, рухаючись вгору, другий – вниз. Через кожен період маятник знову повертається в попереднє положення, а через півперіод положення відрізняються одне від одного лише напрямком руху. Тому для характеристики напрямку руху і зміщення тіла вводять нову фізичну величину, яку називають фазою коливань.

3. Автоколивання

Обладнання: маятник у годиннику на підставці, пружина, гиря масою 1 кг.

Автоколивання можуть бути отримані в найрізноманітніших коливальних системах: механічних, електричних, електромеханічних і ін.



Мал. 3

Механічні автоколивання демонструють на моделі годинника (мал. 3).

Спочатку показують основні частини механічної автоколивальної системи: коливальну систему (маятник), джерело енергії, що підтримує незатухаючі коливання (гирю), і пристрій, який регулює надходження енергії в коливальну систему (храпове колесо з анкерною вилкою). Потім заводять годинник і показують, що при будь-якому початковому відхиленні маятника амплітуда його коливань через якийсь час досягає певної величини і після цього залишається постійною. Величина амплітуди визначається, з одного боку, величиною енергії, що надходить від джерела (гирі), а з іншого боку – витратою її на подолання різних сил опору.

При сталих коливаннях кількість енергії, що витрачається маятником за один період, дорівнює кількості енергії, що надходить за цей же час від джерела. Такі стаціонарні незатухаючі коливання, які підтримуються в системі за рахунок енергії постійного джерела, називають автоколиваннями.

Далі змінюють частоту коливань маятника, переміщаючи вантаж на стержні. При цьому встановлюють, що частота автоколивань не залежить від зовнішніх умов, як це спостерігається у випадку вимушених коливань; вона визначається довжиною маятника. Зміна частоти автоколивань призводить до зміни швидкості витрати енергії джерела (швидкості опускання гирі), причому надходження енергії в систему при будь-якій частоті автоматично регулюється самою системою завдяки наявності зворотного зв'язку.

Завдання III. Виконати лабораторні роботи, додержуючись методичних вимог, щодо оформлення їх письмового звіту:

1. Вивчення коливань математичного маятника

Мета: дослідити залежність періоду коливань математичного маятника від його довжини.

Обладнання: вимірювальна стрічка, секундомір, штатив з муфтою і кільцем, кулька, нитка.

Порядок виконання роботи:

1. На краю стола встановлюють штатив з математичним маятником. Кулька повинна висіти на відстані $1-2\text{ см}$ від підлоги.

2. Виміряйте довжину маятника l .

3. Виведіть математичний маятник з положення рівноваги, змістивши його на $5-7\text{ см}$ від положення рівноваги і експериментально визначте період коливань маятника. Для цього, виміряйте проміжок часу Δt , протягом якого маятник здійснює 15-20 коливань і визначте період коливань за формулою:

$$T = \frac{\Delta t}{N},$$

де N – число коливань.

4. Проробити аналогічні виміри, зменшуючи довжину маятника на $0,1\text{ м}$ до 1 м .

5. Результати вимірювань і обчислень записують в таблицю.

№ п/п	$L, \text{ м}$	N	$T, \text{ с}$	T^2

6. Побудуйте графік залежності квадрату періоду від довжини маятника. З графіка визначити прискорення вільного падіння.

7. Прискорення можна знайти з формули:

$$T = 2\pi \sqrt{\frac{l}{g}}, \text{ звідси } g = 4\pi^2 \frac{l}{T^2},$$

де l – довжина маятника.

Висновок:

2. Вивчення коливань пружинного маятника

Мета: дослідити залежність періоду коливань пружинного маятника від маси тягарця і жорсткості пружини.

Обладнання: штатив з двома муфтами і лапками, тягарці набірні масою 1 кг, 3 пружини різної жорсткості, лінійка, секундомір, стрілка.

Теоретичні відомості

Тягарець підвішений на пружині і виведений з положення рівноваги, під дією сил тяжіння і пружності пружини здійснює гармонічні коливання. Період коливань такого маятника визначається виразом

$$T = 2\pi\sqrt{\frac{m}{k}},$$

де k – жорсткість пружини, m – маса тіла.

Завдання цієї роботи в тому, щоб експериментально перевірити виведену теоретично закономірність. Для виконання цього завдання спочатку потрібно визначити жорсткість k пружини, використаної в даній установці, масу тягарця, та обчислити період коливань.

Послідовність виконання роботи:

а) Дослідити залежність періоду коливань пружинного маятника від маси

1. Закріпити пружину у лапці штатива і підвісити до неї тягарець масою 100 г.

2. Виміряти видовження пружини Δx .

3. Обчислити жорсткість пружини:

$$k = \frac{F}{\Delta x}.$$

4. Виведіть пружинний маятник з положення рівноваги, змістивши його на 5-7 см вниз, і експериментально визначте період коливань маятника. Для цього, виміряйте проміжок часу Δt , протягом якого маятник здійснює 15-20 коливань, визначте період коливань за формулою

$$T = \frac{\Delta t}{N},$$

де N – число коливань.

5. Проробити аналогічні виміри, збільшуючи масу тягарця на 0,1 кг до 0,8 кг.

6. Дані дослідів і обчислень занести до таблиці:

№ дослідів	F, H	$\Delta x, м$	$k, \frac{H}{м}$	$m, кг$	\sqrt{m}	$\Delta t, с$	N	$T, с$
				0,1				
				0,2				
				0,3				
				0,4				
				0,5				
				0,6				
				0,7				
				0,8				

7. Побудувати графік $T=f(\sqrt{m})$.

8. З графіка визначити жорсткість пружини.

Висновок:

б) Дослідити залежність періоду коливань пружинного маятника від жорсткості пружини

1. Закріпіть пружину в лапці штатива, підвісьте до неї тягарець масою 0,5 кг і виміряйте її видовження Δx . За виміряними видовженнями і відомою силою обчисліть жорсткість пружини:

$$k = \frac{F}{\Delta x}.$$

2. Виведіть пружинний маятник з положення рівноваги, змістивши його на 5-7 см униз, і експериментально визначте період коливань маятника. Для цього, виміряйте проміжок часу Δt ,

протягом якого маятник здійснює 15-20 коливань, визначте період коливань за формулою:

$$T = \frac{\Delta t}{N},$$

де N – число коливань.

3. Проробити аналогічні виміри п. 1,2 з другою пружиною, з'єднавши їх послідовно і паралельно, не змінюючи масу тягарця.

4. Результати вимірювань і обчислень записати в таблицю.

№ дослід	$F, Н$	$\Delta x, м$	$k, \frac{Н}{м}$	$m, кг$	$\sqrt{\frac{l}{k}}$	$\Delta t, с$	N	$T, с$

5. Побудувати графік $T = f\left(\sqrt{\frac{l}{k}}\right)$.

6. З графіка визначити масу тягарця – m .

Висновок:

Лабораторна робота №28

Електромагнітні коливання

Мета: оволодіти методикою і технікою постановки демонстрації з теми: “Електромагнітні коливання”. Виконати роботу фізичного практикуму передбачену шкільною програмою.

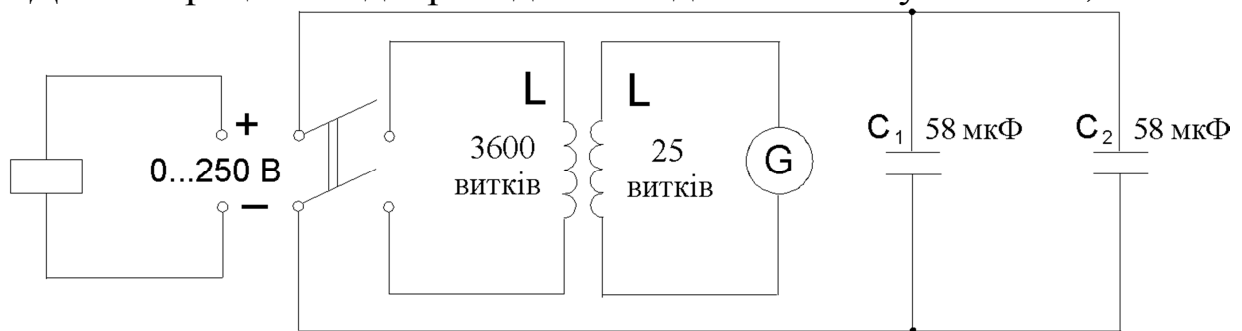
Завдання I. Повторити за шкільним та вузівськими підручниками матеріал, що стосується електромагнітних коливань.

Завдання II. Набути умінь і навичок у виконанні таких демонстрацій:

1. Вільні електромагнітні коливання низької частоти в коливальному контурі

Обладнання: гальванометр від демонстраційного амперметра, батарея конденсаторів, дросельна котушка з осердям, випрямляч універсальний ВУП, перемикач двохполюсний, з'єднувальні провідники.

Демонстрацію слід проводити за допомогою установки, схема



Мал. 1

якої дана на мал. 1.

За допомогою двохполюсного перемикача батарею конденсаторів можна почергово перемикати: на заряд від джерела постійного струму і на розряд через дросельну котушку.

Індикатором струму служить гальванометр від демонстраційного амперметра.

Спочатку заряджають конденсатор і, перемкнувши його на котушку, показують, що стрілка гальванометра при цьому здійснює декілька затухаючих коливань.

Із демонстрації видно, що розряд конденсатора має коливальний характер. Дослід показують декілька разів і пояснюють явище, що спостерігалось, використовуючи аналогію з механічними коливаннями.

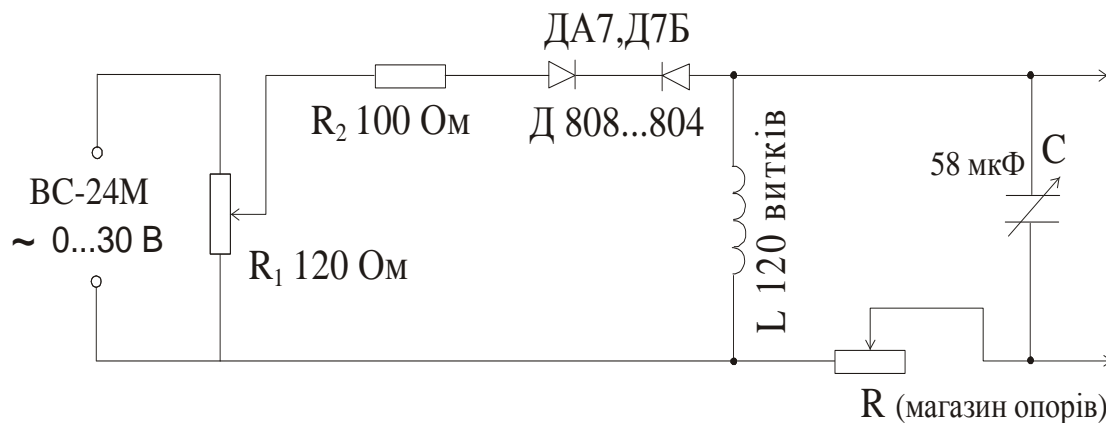
Далі показують, що частота коливання в контурі залежить тільки від параметрів самого контуру і є його власною частотою. Для цього зменшують спочатку ємність батареї, потім кількість витків котушки в контурі і, збуджуючи коливання, одержують помітне збільшення частоти коливань стрілки.

2. Спостереження затухаючих коливань за допомогою електронного осцилографа

Обладнання: осцилограф, батарея конденсаторів, котушка 120-220 В від універсального трансформатора, реостат, діоди, з'єднувальні провідники.

Схема установки для одержання осцилограми затухаючих коливань зображена на мал. 2. Вона складається з однопівперіодного випрямляча, коливального контуру і електронного осцилографа. Імпульси змінного струму проходячи через напівпровідниковий діод періодично заряджають конденсатор. В проміжку між імпульсами конденсатор розряджається через котушку і реостат. Розряд має коливальний характер і на екрані осцилографа спостерігають осцилограму затухаючих коливань.

Після цього показують зміну частоти коливань при зміні ємності конденсатора і індуктивності котушки. Змінюючи опір реостата,



Мал. 2

звертають увагу, що від цього не тільки зменшується початкова амплітуда коливань, але і збільшується швидкість затухання.

4. Повільні незатухаючі коливання низької частоти в ламповому генераторі

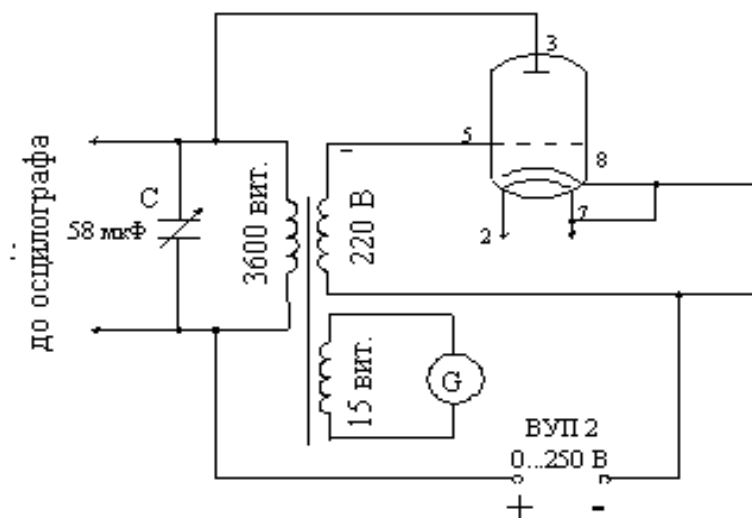
Обладнання: батарея конденсаторів, універсальний трансформатор, дросельна котушка, реостат, гальванометр від

демонстраційного вольтметра, демонстраційна лампова панелька з тріодом, гучномовець, випрямляч універсальний ВУП, з'єднувальні провідники.

Одержання незатухаючих електричних коливань демонструють за допомогою лампового генератора. Як видно з мал. 4, генератор складається із коливального контуру, трьохелектродної лампи (тріода), випрямляча з потенціометром, за допомогою якого можна регулювати напругу в анодному колі, і котушки на 220 В з осердям від універсального трансформатора. Ця котушка має індуктивний зв'язок з котушкою в коливальному контурі. Для виявлення коливань, які виникають в коливальному контурі, додаткову обмотку (червоного кольору), приєднують до затискачів гальванометра.

Перед вмиканням установки ручку потенціометра ставлять приблизно на середину, вмикають на повну ємність батарею конденсаторів і всю обмотку дросельної котушки. Через деякий час після вмикання випрямляча, коли прогріється катод лампи, генератор починає працювати. Період коливання приблизно дорівнює $0,5\text{ с}$. Якщо розмах коливань стрілки гальванометра недостатньо великий, збільшують напругу в анодному колі. Якщо коливання не збуджуються, потрібно зменшити ємність батареї конденсатора і, як тільки виникнуть коливання, знову збільшити ємність до максимальної величини.

Потрібно мати на увазі, що генератор може працювати тільки при певному, узгодженому включенні обмоток котушок. Правильне вмикання знаходять методом проб, якщо генератор не працює, то міняють місцями провідники на затискачах однієї з котушок.



Мал. 4

Індикаторами коливань можуть виступати одночасно гучномовець, осцилограф, гальванометр.

Пояснити роботу генератора можна таким чином. Показують, що для одержання незатухаючих коливань необхідно періодично відшкодовувати необоротні втрати енергії в контурі, які ведуть до затухання. Для цього коливальний контур за допомогою котушки зв'язаний з джерелом енергії. Щоб порції енергії, які поступають від джерела, були своєчасними, ця котушка відповідним чином індуктивно зв'язана з сіткою лампи, яка виконує роль електронного вимикача.

В процесі коливань, які здійснюються в коливальному контурі, відбувається періодична зміна потенціалу сітки відносно катода. При збільшенні потенціалу сітки анодний струм підсилюється, а при зменшенні - послаблюється. Але в котушці коливального контуру при будь-якій зміні анодного струму індукується електричне поле. Воно створює в котушці контуру додаткову ЕРС, яка і поповнює втрати енергії, якщо тільки напрямок індукційного вихрового електричного поля співпадає з напрямком струму у витках котушки.

Для збудження коливань потрібний досить сильний імпульс анодного струму в котушці. Цей імпульс виникає в момент замикання анодного кола. Можна показати, що без такого імпульсу коливання можуть і не виникнути. Для цього під час роботи генератора ручкою потенціометра, зменшують напругу в анодному колі до нуля, внаслідок чого коливання припиняються. Далі плавно і повільно знову збільшують анодну напругу і показують, що коливання при цьому не виникають. Але досить вимикачем розімкнути і знову замкнути анодну ділянку, щоб генератор знову почав працювати.

Завдання III. Виконати лабораторну роботу, додержуючись методичних вимог, щодо оформлення її письмового звіту:

Визначення індуктивності котушки

Мета: виміряти індуктивність котушки, використавши закон Ома для змінного струму.

Обладнання: котушка дросельна, міліамперметр, вольтметр з великим внутрішнім опором, джерело змінного струму, вимикач, з'єднувальні провідники, омметр.

Теоретичні відомості

Один із способів вимірювання індуктивності котушки ґрунтується на тому, що дросельна котушка, увімкнена в коло змінного струму, крім активного опору R , який визначається матеріалом розмірами і

температурою дротини, створює додатковий опір X_L , який називають індуктивним. Числове значення цього опору пропорційне індуктивності L і частоті ν , тобто:

$$X_L = 2\pi\nu L \quad (1)$$

При цьому опір змінному струмові дорівнюватиме:

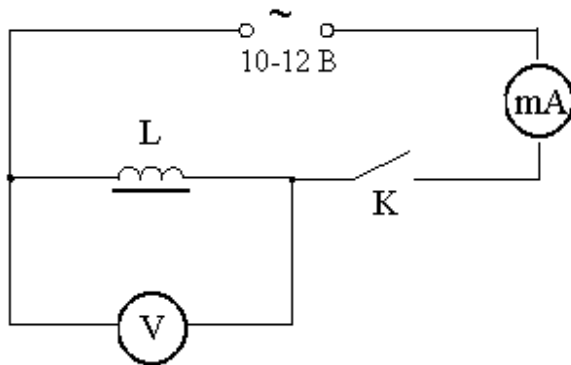
$$Z = \sqrt{R^2 + X_L^2} \quad (2)$$

З рівнянь (1) і (2) можна знайти індуктивність:

$$L = \frac{1}{2\pi\nu} \sqrt{Z^2 - R^2} \quad (3)$$

Активний опір визначають омметром. Повний опір знаходять користуючись законом Ома:

$$Z = \frac{U}{I} \quad (4)$$



Мал. 6

Порядок виконання роботи:

1. Визначити за допомогою омметра активний опір котушки.

2. Зібрати електричне коло за схемою мал. 6.

3. Замкнувши ключ, встановити певну напругу U . Зняти покази амперметра I . Визначити повний опір кола для різних напруг і переконатись у тому, що він не залежить від напруги.

4. Обчислити індуктивність котушки за формулою (3).

5. Внести в котушку залізне осердя і повторити дослід. Порівняти індуктивність котушки з осердям і без осердя.

6. Результати вимірювань і обчислень занести у таблицю:

№ п/п	Активний опір R , Ом	Кількість витків	БЕЗ ОСЕРДЯ					З осердям				
			U (В)	I (мА)	Z (Ом)	$\langle Z \rangle$ (Ом)	L (Гн)	U (В)	I (мА)	Z (Ом)	$\langle Z \rangle$ (Ом)	L (Гн)
1		1200										
2		2400										
2		3600										

Висновок:

Лабораторна робота № 29

Змінний електричний струм

Мета: оволодіти методикою і технікою проведення демонстраційних дослідів з теми: „Змінний електричний струм”.

Завдання I. Опрацювати відповідний навчальний матеріал за шкільними і вузівськими підручниками.

Завдання II. Набути умінь та навичок у виконанні таких демонстрацій:

1. Будова і принцип дії генератора змінного струму

Обладнання: лампочка на 3,5 В, гальванометр, джерело постійної напруги на 4 В, реостат, амперметр, з'єднувальні провідники, магнітоелектрична машина.

Щоб показати процес одержання змінного струму за допомогою індукційного генератора, потрібно встановити щітки магнітоелектричної машини так, щоб вони дотикалися до кілець колектора. Машину із знятою пасовою передачею приєднайте до гальванометра від демонстраційного вольтметра (без додаткового опору). При повільному обертанні ротора машини, гальванометр показуватиме струм, який змінюється як за значенням, так і за напрямом. Обертати ротор машини потрібно якомога повільніше і рівномірніше.

Після цього надіньте пасову передачу і до машини замість гальванометра приєднайте лампочку на 3,5 В. Обертаючи ручку машини, спостерігайте за яскравістю свічення лампочки. Слід мати на увазі, що в потужних промислових генераторах струм індукується не в рухомій частині машини, а в нерухомих провідниках.

2. Осцилограма змінного струму

Обладнання: осцилограф електронний, лампочка на 6,3 В, випрямляч ВС-24, магнітоелектрична машина, з'єднувальні провідники.

Приєднайте до вертикального входу електронного осцилографа лампочку на 6,3 В. Подайте до лампочки змінну напругу промислової частоти з випрямляча ВС-24 або будь-якого іншого джерела змінного струму. За допомогою ручок керування роботою осцилографа отримайте на екрані стійку осцилограму одного-двох періодів змінного струму.

Тепер приєднайте до лампочки магнітоелектричну машину і обертайте її з такою швидкістю, щоб на екрані утворилась осцилограма одного-двох періодів змінного струму, який дає машина. Оскільки в машині дістати однорідне магнітне поле, в якому обертається рамка, практично неможливо, то струм не має чіткого синусоїдального характеру.

3. Залежність ємнісного опору від частоти змінного струму і ємності

Обладнання: генератор звуковий шкільний, батарея конденсаторів, електрична лампочка (3,5 В, 0,28 А), з'єднувальні провідники.

Послідовно з виходом звукового генератора (5 Ом) включають лампу (3,5 В, 0,28 А) і батарею конденсаторів. Після включення генератора в мережу і прогріву ламп регулятором виходу встановлюють нормальну яскравість свічення лампи. Частота змінного струму на вихідному генераторі при цьому повинна бути 2000 Гц. Змінюючи ємність включених конденсаторів, звертають увагу учнів на зміну яскравості світіння лампи. Цей дослід показує залежність електричного опору змінного струму, що містить ємність, від ємності конденсатора.

Встановлюють ємність конденсатора на 4 мкФ, змінюють частоту генератора від 200 до 2000 Гц. Яскравість свічення лампи збільшується при збільшенні частоти. Таким чином, опір конденсатора змінного струму зменшується зі збільшенням частоти струму. На основі результатів цього досліду вводять поняття про ємнісний опір та виводять формули його залежності від ємності і частоти, тобто:

$$X_c = \frac{1}{\omega C} = \frac{1}{2\pi\nu C}.$$

Зміну частоти змінного струму учні зможуть контролювати на слух, якщо до виходу генератора (600 Ом) підключити гучномовець.

4. Залежність індуктивного опору від частоти змінного струму та індуктивності котушки

Обладнання: генератор звуковий шкільний, універсальний трансформатор з котушкою 6/6 В, електрична лампочка (3,5 В, 0,28 А), з'єднувальні провідники.

Послідовно з виходом звукового генератора (5 Ом) включають електричну лампочку і котушку 6/6 В з набору універсального трансформатора. Після включення генератора і прогріву регулятором

виходу встановлюють нормальну яскравість свічення лампи. Частота змінного струму на виході генератора при цьому повинна бути 2000 Гц .

Не виключаючи генератор, котушку надівають на стержень магнітопроводу яскравість свічення лампи при цьому зменшиться. Якщо замкнути магнітопровід, то яскравість зменшиться до нуля.

Цей дослід показує залежність електричного опору кола змінного струму від індуктивності котушки.

Розімкнувши магнітопровід і змінюючи частоту генератора. Показують залежність індуктивного опору від частоти змінного струму. Яскравість лампи зменшиться при збільшенні частоти. Ці досліди розкривають поняття про індуктивний опір і служать основою для виводу формули:

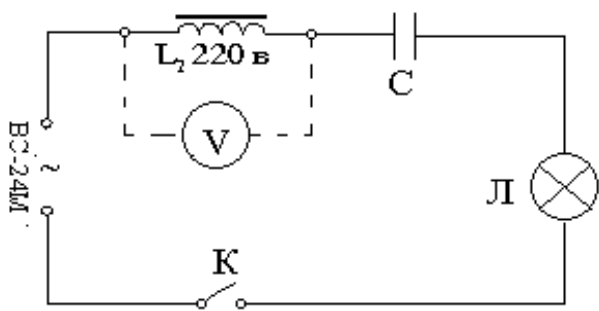
$$X_L = \omega L = 2\pi\nu L.$$

Зміну частоти змінного струму учні можуть контролювати на слух, якщо до виходу генератора (600 Ом) підключити гучномовець.

5. Розподіл напруг у колі змінного струму зі змішаним навантаженням

Обладнання: випрямляч ВС-24, універсальний трансформатор з котушкою $220/120 \text{ В}$, батарея конденсаторів ємністю 58 мкФ , амперметр демонстраційний із шунтом на 1 А , електрична лампочка ($3,5 \text{ В}$, $0,28 \text{ А}$), з'єднувальні провідники.

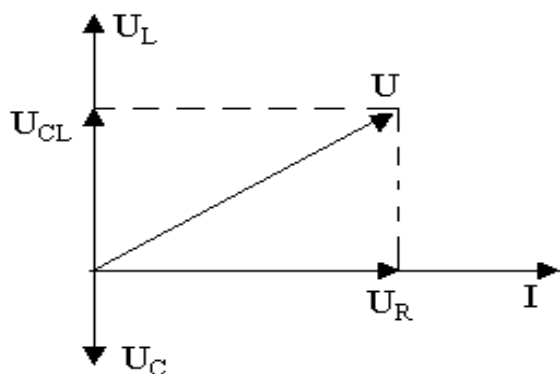
Для дослідження розподілу напруг на різних ділянках кола змінного струму, яке містить активний, ємнісний і індуктивний опір, з'єднують послідовно лампочку, батарею конденсаторів і котушку 120 В трансформатора (мал. 1).



Мал. 1

На зібрану установку подають змінну напругу 9 В від випрямляча ВС-24. Для вимірювання напруги беруть демонстраційний вольтметр з

додатковим опором на 15 В і по чергово вимірюють напругу на випрямлячі, конденсаторі, котушці і лампочці. Звертають увагу на те, що загальна напруга не рівна сумі напруг, яку виміряли на окремих ділянках кола.



Мал. 2

Далі закрочують батарею конденсаторів і показують, що при цьому сила струму буде зменшуватись (лампочка потухне або її розжарення зменшиться). До таких же результатів приводить і закорочування котушки. Таким чином, виявляється, що при зменшенні ємнісного чи індуктивного опору повний опір кола не зменшується, а збільшується.

Користуючись результатами дослідів і використовуючи метод векторних діаграм (мал. 2) можна записати:

$$U=IZ$$

$$U_R=IR$$

$$U_R=IR$$

$$U_L=IX_L$$

$$\text{Отже, } U = \sqrt{U_R^2 + (U_L - U_C)^2}.$$

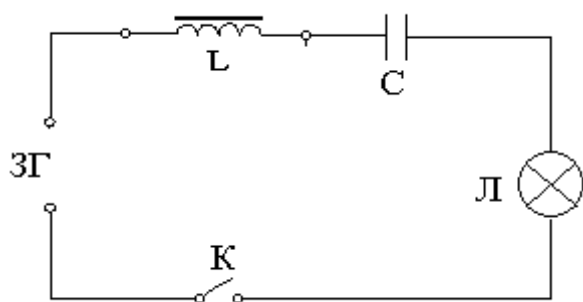
Згідно закону Ома:

$$Z = \sqrt{R^2 + (\omega L - \frac{1}{\omega C})^2}$$

6. Резонанс у послідовному колі змінного струму

Обладнання: генератор звуковий шкільний, батарея конденсаторів 58 мкФ , трансформатор універсальний з котушкою $6/6 \text{ В}$, гучномовець електродинамічний, лампа розжарення $3,5 \text{ В}$, $0,28 \text{ А}$ на підставці.

Із попереднього дослідів легко зробити висновок, якщо $X_L - X_C = 0$, тобто $X_L = X_C$ тоді опір всієї ділянки кола буде рівним опорі лампи $Z=R$.



Мал. 3

Власна частота коливального контуру, дорівнює

$$\frac{1}{2\pi\nu C} = 2\pi\nu L, \text{ або } \nu = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC}}.$$

Виражену в цій формулі залежність резонансної частоти від ємності і індуктивності коливального контуру можна

показати на установці, яка зібрана по схемі (мал. 3). До затискачів звукового генератора приєднаний гучномовець, який служить звуковим індикатором частоти.

Перед дослідом установку настроюють на резонанс. Для цього котушку (6/6 В) трансформатора вмикають повністю (12 В), на батареї конденсатора встановлюють ємність 2 мкФ, частоту на генераторі приблизно 3000 Гц. Змінюючи частоту на генераторі добиваються найяскравішого свічення лампочки.

Дослід проводять в такій послідовності.

Включають генератор і, коли лампа загориться, по чергово закорочують спочатку конденсатор, потім котушку. В обох випадках лампа горить однаково тьмяно. Це означає, що при частоті близькій до 3000 Гц індуктивний і ємнісний опори рівні. Змінюючи частоту, показують, що резонанс порушується. Зміну частоти відмічають за висотою тону гучномовця.

Зменшують індуктивність, включивши половину витків котушки, спостерігають порушення резонансу. Для встановлення резонансу частоту приходиться збільшувати (наближено до 5500 Гц).

Встановлюють початкові умови і ємність зменшують до 1 мкФ. це знову порушує резонанс, який встановлюється приблизно таким же збільшенням частоти.

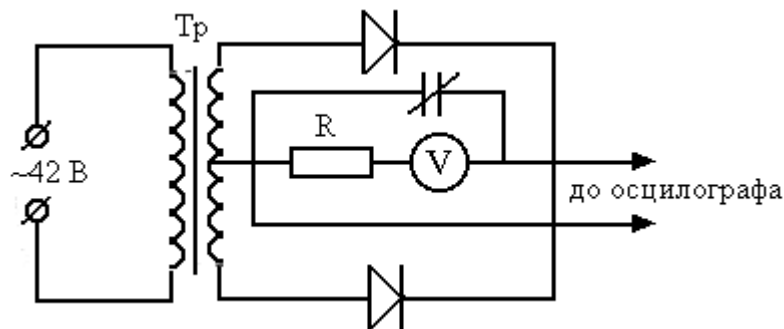
Поставивши установку в початкове положення, зменшують індуктивність котушки, а ємність збільшують до 4 мкФ. Резонанс майже не спостерігається.

В цих дослідах не можна одержати точні кількісні залежності, так як батарея конденсаторів не може служити еталоном ємності, а зміна індуктивності при переключеннях на затискачах котушки не може бути визначена достатньо точно.

7. Одно- і двопівперіодне випрямлення змінного струму

Обладнання: електронний осцилограф, демонстраційний вольтметр, батарея конденсаторів, установка для демонстрації випрямлення змінного струму, з'єднувальні провідники.

Добрі результати дає установка, зображена на мал. 4. Живиться установка від змінної напруги 42 В . Демонструючи одно- і двопівперіодне випрямлення змінного струму та дію фільтра у випрямлячі, перевірте співвідношення середнього і амплітудного значення напруги змінного струму. Для цього, ввівши в коло лише один діод і відключивши конденсатор, записують покази вольметра.



Мал. 4

Він покаже середнє значення напруги U_c . Приєднують конденсатор і спостерігають за зміною осцилограми при зміні ємності. При максимальній ємності, коли осцилограма матиме форму близьку до прямої лінії, записують покази вольметра. Він покаже практично амплітудне значення напруги змінного струму U . Знаходять відношення $\frac{U_c}{U_o}$, яке близьке до $0,32$; тобто $U_c = 0,32U_o$. Приєднавши другий діод, проводять аналогічні спостереження і вимірювання. Переконаються, що при двопівперіодному випрямленні $U_c = 0,64U_o$.

Завдання III. Виконати лабораторну роботу, дотримуючись методичних вимог, щодо оформлення її письмового звіту:

Визначення кількості витків в обмотках трансформатора

Обладнання: джерело змінного струму, трансформатор універсальний, вольметр, котушка ($6/6\text{ В}$), котушка ($120/220\text{ В}$), дріт для виготовлення додаткової обмотки.

Порядок виконання роботи:

1. Намотати на ярмо осердя додаткову обмотку, підрахувавши при цьому кількість її витків n_o .
2. Приєднати котушку ($6/6\text{ В}$) трансформатора до джерела змінної напруги.
3. Виміряти напругу U_1 на первинній і U_o - на виготовленій обмотках і обчислити коефіцієнт трансформації:

$$k_1 = \frac{U_1}{U_0}.$$

4. За відомим коефіцієнтом трансформації $k_1 = \frac{n_1}{n_0}$ обчислити кількість витків n_1 первинної обмотки:

$$n_1 = k_1 n_0.$$

5. Замість виготовленої обмотки встановити на осердя котушку (120/220 В) від універсального трансформатора.

6. Для визначення кількості витків у котушці (120/220 В) n_2 знову приєднують трансформатор до джерела струму так, щоб вона була вторинною.

7. Виміряти напругу на обмотках U_2 і U'_1 і обчислити

$$k_2 = \frac{U_2}{U'_1}.$$

8. За відомим коефіцієнтом трансформації k_2 обчислити кількість витків n_2 вторинної обмотки:

$n_2 = k_2 n_1$. Результати вимірювань і обчислень занести до таблиці.

№ п/п	n_0	U_0, B	U_1, B	k	n_1	U_2, B	U'_0, B	k_2	n_2
1									
2									
3									

Примітка. Якщо кількість витків додаткової обмотки невелика (30-50), не слід подавати на неї напругу від джерела струму, щоб уникнути пробою трансформатора.

Висновок:

Лабораторна робота №30

Механічні хвилі

Мета: оволодіти методикою і технікою проведення демонстраційних дослідів з теми: „Механічні хвилі”. Виконати шкільні лабораторні роботи, передбачені програмою.

Завдання I. Опрацювати відповідний навчальний матеріал за шкільними і вузівськими підручниками.

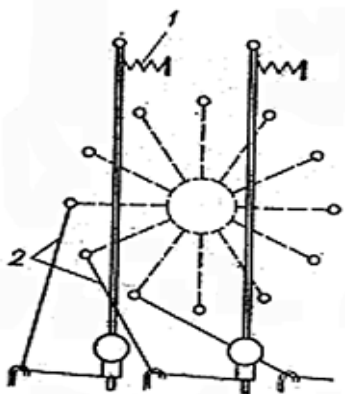
Завдання II. Набути умінь та навичок у виконанні таких демонстрацій:

1. Моделювання поперечних і поздовжніх хвиль за допомогою хвильової машини, конструкції Зворикіна Б.С.

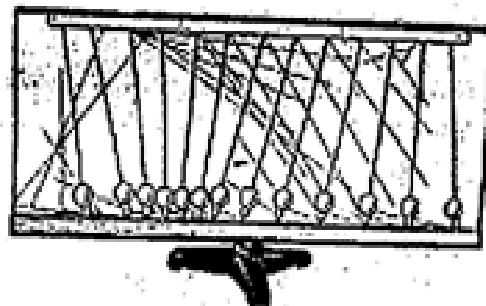
Обладнання: машина хвильова, конструкції Зворикіна Б.С.

Машина хвильова, конструкції Зворикіна Б.С. призначені для моделювання коливальних і хвильових рухів. Прилад змонтований на прямокутному чорному щиті, поставленому на підставці. На лицевій стороні на рівних відстанях підвішені 13 спиць з насадженими на них кульками. Вони приводяться в рух двома системами ниток, одна з яких призначена для отримання картини поперечних хвиль, друга - поздовжніх. Механізм для управління нитками розташований на оберненій стороні щитка. Знизу кожної спиці, під кулькою знаходиться маленька муфта. За допомогою цієї муфти можна встановити кульки на шпичках на різних висотах. Кожна шпичка з кулькою служить маятником, який зверху відтягується пружиною 1 вправо, а знизу, ниткою 2 вліво, тому залишається у вертикальному положенні.

Нитки від маятника пропущені через 12 отворів в щитку, розташованих по колу, і з'єднані разом на зворотній стороні щитка



Мал. 1



Мал. 2

клем з ручкою, як показано на мал. 1. Клема прижимається до щитка натягненням ниток і утримується в будь-якому місці між отворами в щитку.

Якщо клеми повільно обертати рукою приблизно по колу, то рух кульок буде створювати ілюзію біжучої поздовжньої хвилі. Якщо клеми привести в коливальний рух, то кульки будуть моделювати рух частинок середовища в стоячій поздовжній хвилі.

Для демонстрації поздовжніх хвиль прилад має другу систему ниток, прив'язаних не до маятників, а до кульок, які дозволяють переміщувати кульки вздовж шпичі. Кожна з цих ниток огинає гак замість підвісу, проходить через один з 12 отворів другого ряду і кріпиться на оберненій стороні щитка до краю металевий диска. До диска приєднані стержень з кулькою і рукоятка, яку вкладають в спеціальний затискач, розміщений біля краю щитка.

Для демонстрації поперечних хвиль закручують стержень в металеве гніздо, закріплене до щитка під диском, а потім закручують рукоятку. Обертаючи кінець рукоятки, отримують модель біжучої поздовжньої хвилі, а нахиливши рукоятку вгору чи вниз або вправо чи вліво, отримаємо модель поперечної стоячої хвилі.

2. Хвильові процеси у хвильовій ванні

Мета: отримати різноманітні хвильові процеси та порівняти їх властивості.

Обладнання: хвильова ванна з вібратором.

Хвильова ванна з вібратором служить для демонстрації хвиль на воді методом тіньового проектування.

Ванна являє собою прямокутний металевий посуд розміром 500 на 400 мм і глибиною 40 мм, установлений на трьох опорах. При їх допомозі ванна встановлюється в горизонтальне положення. Дно ванни скляне. В середині по контуру ванни вставляються пластинки з косими пологими краями, виготовленими або з матеріалу, який добре змочується водою, або з металу з тканинними чохлами.

а) хвилі на поверхні води:

У ванну наливають води, шаром 4-5 мм і гвинтами встановлюють рівновагу. Якщо використовують ванну з дзеркальним дном, то освітлювач для тіньового проектування розміщують на столі поруч з ванною так, щоб вся поверхня води була освітлена, а відбите світло падало на екран, розміщений похило над класною дошкою.

На стінці ванни закріплюють вібратор, а на вібраторі насадку з однією кулькою, яка повинна торкатись поверхні води. Для

послаблення відбивання хвиль на похилі краї ванни кладуть стрічки з тканини і добре їх змочують.

б) інтерференція хвиль:

Збирають установку з ванною для проекції хвиль. Для вібратора прикріплюють насадку з двома кульками так, щоб при коливаннях вони одночасно торкалися поверхні води. Вмикають освітлювач і один раз торкаються кулькою води, утворюючи одночасні кругові хвилі. На екрані спостерігаються темні і світлі кільця, які розходяться від місця торкання кульок, зустрічаються і проходять далі без будь-якої зміни форми.

Дослід показує, що хвилі поширюються від двох джерел незалежно одна від одної.

Збуджують вібратор і отримують неперервний ряд колових хвиль. Вони, поширюючись, накладаються одна на одну на всій поверхні води і утворюють стійку інтерференційну картину, схематично зображену на мал. 4. На екрані добре помітний ряд напрямків, по яких поширюються ці хвилі. Ці області розділюються світлими „доріжками”, де коливання води значно ослаблене.



Мал. 3



Мал. 4

в) відбивання хвиль:

Дослід починають з демонстрації відбивання хвиль від плоского дзеркала. Щоб полегшити для учнів спостереження за розповсюдженням і відбиванням хвиль, спочатку вібратор приводять в рух рукою, утворюючи поодинокі хвилі.

На екрані спостерігають як утворена хвиля доходить до плоскої пластинки, поставленої на шляху розповсюдження хвиль, відбивається від неї і змінює свій напрямок. При цьому фронт відбитої хвилі зберігає свою форму.

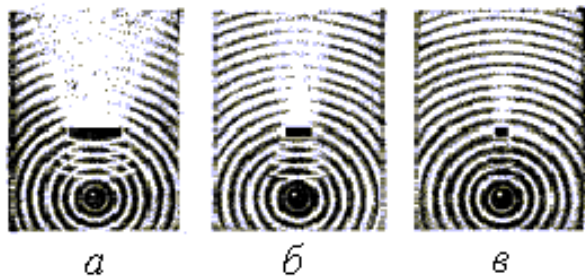
г) дифракція хвиль:

Складають установку з ванною для проекції хвиль. На вібратор встановлюють насадку з одною кулькою, а на дно ванни на відстані

15-20 см від нього ставлять тіло прямокутної форми, розміри якого в декілька разів більші довжини хвилі. Вмикають освітлювач для тіньового проектування і приводять вібратор в коливання. На екрані спостерігають поширення хвиль і тіні, яка утворюється за перешкодою. Вздовж границі тіні помічають невеликий згин, який вказує на те, що хвилі трохи огинають краї перешкоди (мал. 5, а).

Потім на дно ванни ставлять тіло, розміри якого в 2-3 рази більші від довжини хвилі. Тепер хвилі ще більш заходять за границі тіні тіла і її контури стають розмитими (мал. 5. б).

Потім замінюють тіло таким, розміри якого співрозмірні з довжиною хвилі. Помічають, що в даному випадку практично не відбувається утворення тіні: хвилі огинають перешкоду і за нею



Мал. 5

розповсюджуються так, як би перешкоди не було (мал. 5, в).

Таким чином, при наближенні розмірів перешкоди до розмірів довжини хвилі, спостерігається порушення прямолінійності поширення хвиль, тобто явище дифракції хвиль.

3. Стоячі хвилі

Обладнання: гумовий шнур.

Стоячі хвилі легко отримати, використовуючи відбивання хвиль на гумовому шнурі. Шнур беруть за вільний кінець, легенько натягують поперек класу і приводять в коливання у вертикальній площині. Частоту коливань і натягнення шнура підбирають практично так, щоб спочатку на шнурі утворилась одна стояча хвиля, потім дві і три. Велике число стоячих хвиль руками створити не можна і в цьому немає необхідності. Учням пояснюють, що вздовж шнура розповсюджуються в протилежних напрямках дві хвилі - пряма і відбита.

Ці хвилі когерентні: вони інтерферують одна з одною і дають спостерігачу картину стоячих хвиль.

4. Осцилографування звуку

Обладнання: мікрофон, камертон, осцилограф, гучномовець, генератор звуковий шкільний.

Перед мікрофоном встановлюють камертон і, користуючись регулятором плавної зміни частоти горизонтальної розгортки осцилографа, отримують на екрані стійке зображення декількох синусоїд. Вільні коливання камертона і резонуючого стовпа повітря в ящику через деякий час затухають, внаслідок втрати енергії на тертя і випромінювання звуку. Тоді камертон збуджують знову і продовжують спостереження.

Потім до мікрофону підносять по черзі на деякий час збуджену струну і гучномовець, який живиться від звукового генератора. Для кожного джерела отримують стійку осцилограму. Щоб не затягувати дослід, джерела передчасно настроюють на однакову висоту тону. Спостерігаючи осцилограми, учнів переконують, що кожне джерело звуку має свій графік коливань. У камертона і гучномовця, які здійснюють вимушені коливання, графіки мають вигляд синусоїд, тобто, вказані джерела коливань гармонічні. Вільні коливання струни мають складний, не гармонічний характер.

Завдання III. Виконати лабораторну роботу, додержуючись методичних вимог щодо оформлення її письмового звіту:

Вимірювання довжин звукової хвилі і швидкості звуку в повітрі методом резонансу.

Мета: одержати стоячу хвилю, навчитись вимірювати довжину звукової хвилі та швидкість звуку в повітрі методом резонансу.

Теоретичні відомості

Традиційно, лабораторну роботу з визначення швидкості звуку виконують за методикою, в якій використовують звуковий резонанс. Перед скляною або металевою трубкою з поршнем збуджують ударами гумового молотка по камертону звукові хвилі. Поршень пересувають вздовж лінійки і на слух знаходять таке його положення l_1 , при якому звук посилюється. Це перший максимум. Пересувають поршень далі і знаходять, знову ж таки на слух, положення другого максимуму l_2 . За різницею показів l_2 та l_1 знаходять довжину хвилі:

$$\lambda = 2(l_2 - l_1).$$

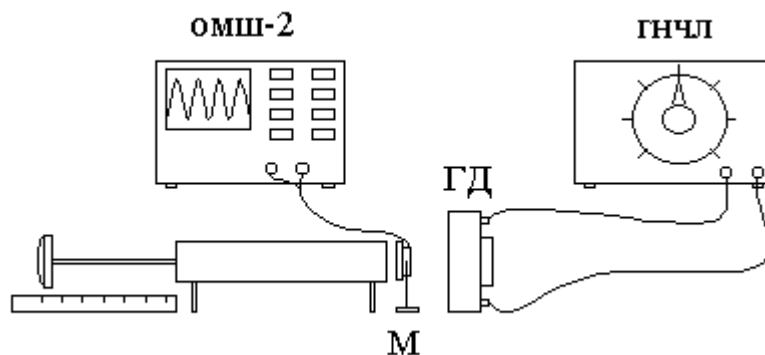
Знаючи частоту звучання камертона ν , знаходять швидкість звуку

$$V = \lambda \nu = 2(l_2 - l_1) \nu.$$

В постановці роботи застосовується типове обладнання

фізичного кабінету:

1. Осцилограф ОМШ-2, у якого трансформатор живлення перемкнуто на напругу 42 В.
2. Генератор звукової частоти типу ГНЧЛ, у якого уточнено за допомогою генератора ГЗМУ на шкалі частот положення поділок 800 Гц, 100 Гц, 1200 Гц. Уточнення слід виконати за фігурами Ліссажу. Осцилограф ОМШ-2 має вертикальні та горизонтальні входи і дозволяє здійснити таку операцію.
3. Можна також скористатись генератором типу ГНЧШ. Для цього з нього потрібно зняти трансформатор живлення, місток випрямляча, за допомогою шнура з відповідною вилкою, підключити до напруги 42 В.
4. Телефонний капсуль типу ТОН-2 або МТ-56. При постановці роботи капсуль виконує роль електромагнітного мікрофона. Його встановлюють на вертикальній підставці.
5. Динамічний гучномовець.
6. Лінійка або вимірювальна стрічка з міліметровими поділками.
7. Металева трубка з поршнем.
8. З'єднувальні провідники.



Мал. 6

Телефонний капсуль-мікрофон[°]М приєднують до клем вертикального входу осцилографа. Відстань від відкритого кінця трубки до мікрофона становить 1...1,5 см. На відстані 2...3 см від мікрофона розташовують гучномовець[°]ГД, з'єднаний з виходом звукового генератора. Прилади вмикають у сітку напругою 42 В. Звукові хвилі від гучномовця за рахунок явища дифракції огинають мікрофон і потрапляють у трубку з поршнем. Початкове положення поршня таке, що він повністю закриває трубку. На генераторі

встановлюють частоту 800 Гц і одержують осцилограму звукових коливань. Поршень пересувають і спостерігають за зміною амплітуди коливань на осцилографі. При резонансі амплітуда різко зростає. Знаходять положення першого максимуму і лінійкою вимірюють відстань від закритого кінця трубки до ручки поршня - l_1 . Пересувають поршень далі, помічають другий максимум і вимірюють відстань до положення ручки поршня при третьому максимумі - l_3 .

На генераторі встановлюють частоту 1000 Гц і повторюють усі операції з визначення довжин l'_1 та l'_3 для цієї частоти. Аналогічно виконують вимірювання довжин l''_1 та l''_3 для частоти 1200 Гц .

Роблять обрахунки довжини хвилі для першої, другої та третьої частоти:

$$\lambda_1 = l_3 - l_1; \quad \lambda_2 = l'_3 - l'_1; \quad \lambda_3 = l''_3 - l''_1.$$

Знаходять швидкість звуку:

$$V_1 = \lambda_1 \nu_1; \quad V_2 = \lambda_2 \nu_2; \quad V_3 = \lambda_3 \nu_3.$$

Результати вимірів заносять у таблицю.

№ п/п	Частота, ν , Гц	l_1 , м	l_3 , м	λ , м	V , $\frac{\text{м}}{\text{с}}$	V_c $\frac{\text{м}}{\text{с}}$
	800					
	1000					
	1200					

Визначають середнє значення швидкості звуку:

$$V_{\text{сеп}} = \frac{V_1 + V_2 + V_3}{3}.$$

За традиційною методикою обраховують похибки.

Висновок:

Лабораторна робота № 32

Світлові хвилі

Мета: оволодіти методикою і технікою проведення дослідів з теми „Світлові хвилі”. Виконати шкільні лабораторні роботи, передбачені програмою.

Завдання І. Опрацювати відповідний навчальний матеріал за шкільними і вузівськими підручниками.

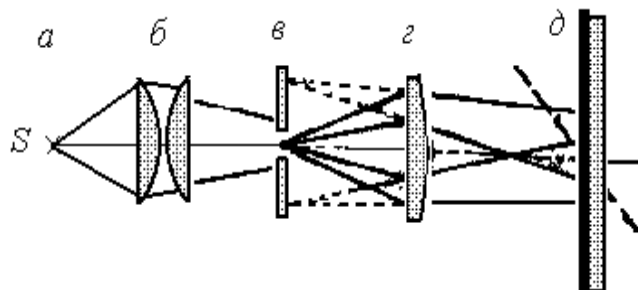
Завдання ІІ. Набути умінь і навичок у виконанні таких демонстрацій:

1. Спостереження інтерференції світла від біпризми Френеля

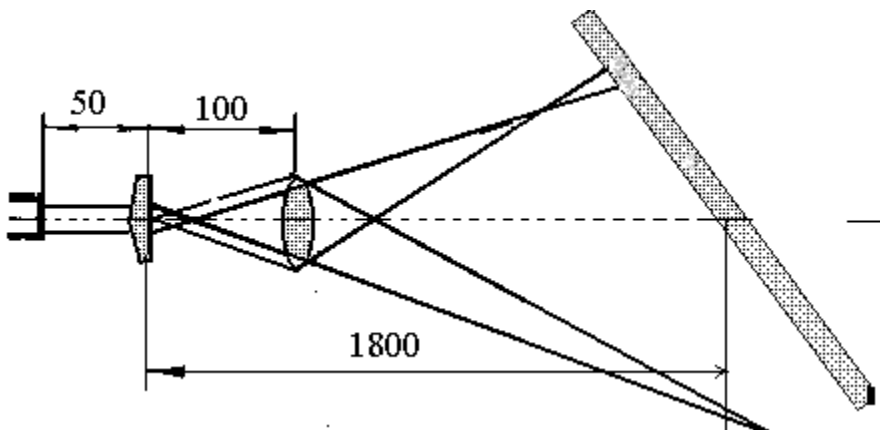
Обладнання: газовий лазер встановлений на оптичній лаві проекційного апарату ФОС, біпризма Френеля, об'єтив від мікроскопа, екран.

Для проведення дослідів використовують біпризму Френеля, що входить у комплект по дифракції й інтерференції.

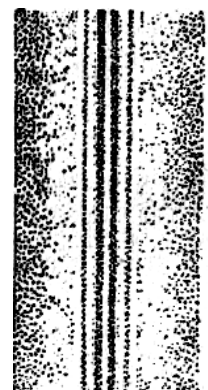
Цей дослід є дуже важливим у методичному відношенні, тому що він дає можливість з'ясувати хвильову природу світла. Уже з принципової схеми дослідів (мал. 1) видно, що явище інтерференції зумовлене наявністю двох уявних зображень щілини (когерентних



Мал. 1



Мал. 2



Мал. 3

„джерел світла”), утворених біпризмою.

Досить важко одержати інтерференцію за допомогою проекційного апарату (потрібне досить потужне джерело світла, паралельність при розміщенні щілини і ребра призми, затемнення кімнати і т. д.).

Однак можна значно поліпшити якість досліду, якщо замість звичайного джерела використати лазер і скласти установку за схемою, як показано на мал. 2.

При такому розміщенні приладів пучки світла, поділені біпризмою, перетинаються і на екрані дають чітку інтерференційну картину у вигляді світлих і темних смуг (мал. 3). При повільному русі об’єктива від біпризми до екрана можна помітити, як спочатку з’являються два окремі пучки світла лазера, потім вони повільно наближаються один до одного, і коли починається їх накладання, виникають чіткі інтерференційні смуги. Розміри картини залежать від відстані між об’єктивом і екраном: чим більша відстань тим більша картинка.

2. Спостереження інтерференції світла за допомогою кілець Ньютона

Мета: познайомити учнів з виникненням інтерференції світла в тонкому шарі повітря між скляною пластинкою і плоско-випуклою лінзою великого радіуса кривизни з використанням цього явища для визначення довжини світлової хвилі.

Обладнання: проекційний апарат ФОС, прилад “кілець Ньютона”, екран.

Для демонстрації кілець Ньютона в білому світлі збирають установку за схемою мал. 4, де: *K* – конденсор, *Д* – діафрагма, *КН* – прилад для демонстрування кілець Ньютона, *О* – об’єktiv, *Е* – екран.

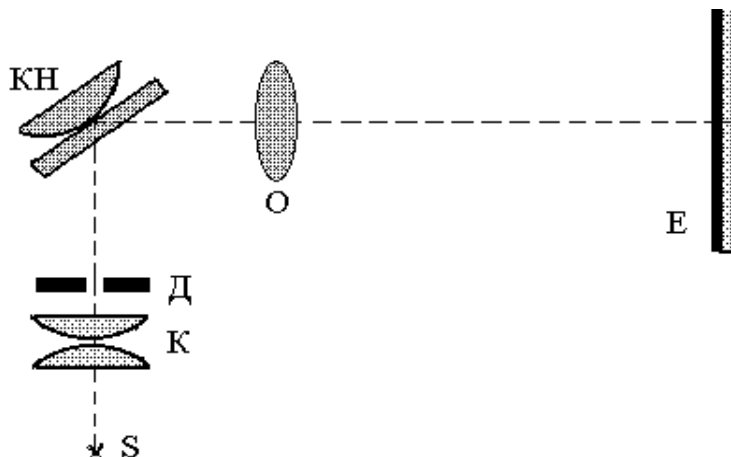
Перед дослідом регулювальні гвинти на приладі, для демонстрування кілець Ньютона, потрібно поставити так, щоб у середній частині приладу утворилися кольорові кільця діаметром 20-25 мм.

На оптичній лаві проекційного апарату встановлюють на відстані 10-12 см від конденсора – дискову діафрагму. На кінці оптичної лави під кутом 45° встановлюють прилад „кілець Ньютона” (мал. 4). Діафрагму підбирають так, щоб пучок світла був більший за прилад. Встановивши об’єktiv, на шляху відбитого від пластин приладу пучка світла, демонструють кільця Ньютона.

Плавним переміщенням об'єктива добиваються різкої інтерференційної картини. В білому світлі вона представляє собою ряд концентричних райдужних кіл.

Діставши на екрані зображення, покажіть, як зміна величини повітряного проміжку впливає на форму кілець.

Покажіть кільця Ньютона в монохроматичному світлі, звертаючи увагу на зміну діаметра кілець при зміні світлофільтрів.

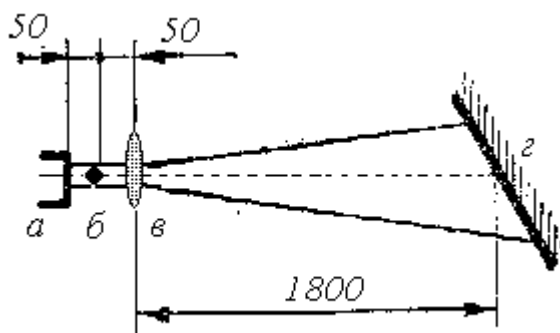


Мал. 4

3. Дифракція світла від тонкої нитки

Обладнання: газовий лазер встановлений на оптичній лаві проєкційного апарату ФОС, тонка нитка натягнута на диску-ширмі, короткофокусний об'єктив від мікроскопа, екран.

Установка для проведення досліду показана на мал. 5. Пучок світла падає на рамку з натягнутою строго вертикально тонкою ниткою. При діаметрі нитки, приблизно рівному $0,05 \text{ мм}$, на екрані одержується чітка дифракційна картина. Між двома темними смугами в центрі добре проглядається світла смуга (мал. 6). По обидві сторони від темних смуг спостерігають систему світлих і темних смуг. При збільшенні відстані до екрана розміри картинки зростають.



Мал. 5

Застосовуючи метод Гюйгенса-Френеля (мал. 7) на дошці пояснити учням утворення дифракційних смуг, звернути увагу на важливий факт наявності в середині спектру світлої смуги. Вона утворюється внаслідок огинання перешкоди та

інтерференції двох когерентних систем світлових хвиль.

Наявність темних смуг у напрямку A і A_1 та світлих смуг у напрямку B і B_1 пояснюється відповідною різницею ходу світлових хвиль. У першому випадку різниця ходу складає парне, а в другому – непарне число півхвиль.

4. Дифракція світла від вузької щілини

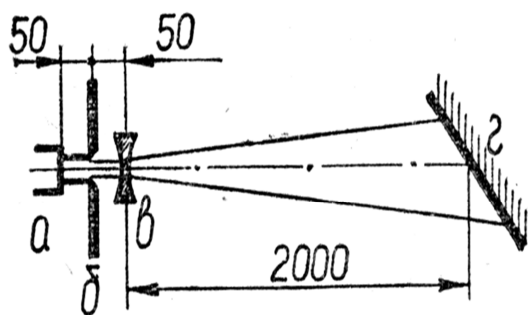
Обладнання: лазер ЛГ-209, щілина, лінза з фокусною відстанню $F = -263$ мм, екран, проекційний апарат ФОС

Дифракцію від однієї щілини можна спостерігати як при звичайному вузькому пучку світла лазера, так і при розширеному.

1. Схему установки з лазером для демонстрації дифракції світла від щілини показано на мал. 8, де: a – лазер ЛГ-209; b – щілина; c – лінза з фокусною відстанню $F = -263$ мм; e – екран. Повільним поворотом гвинта зменшують ширину щілини і спостерігають дифракційну картину на екрані.

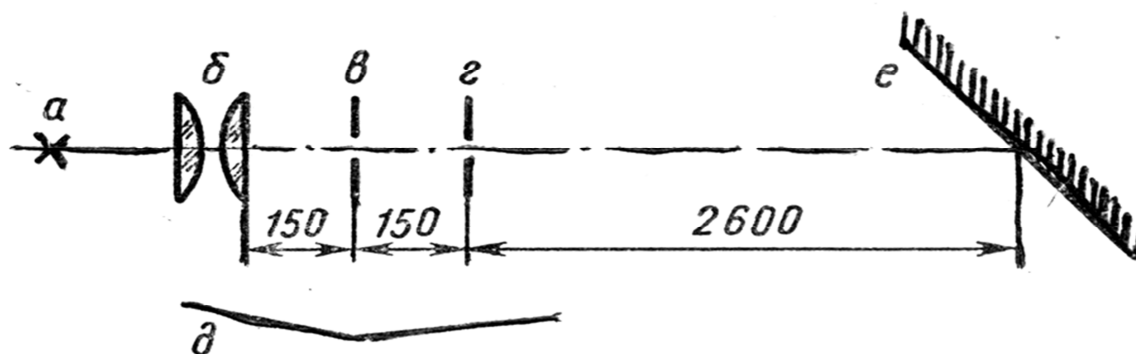
2. Підготовку до демонстрації починають з розміщення джерела світла. Лампу розжарення ставлять так, щоб її спіраль знаходилась на оптичній осі конденсатора і була повернута “ребром” до нього. Потім в пучку світлового конуса від конденсатора переміщують щілину і закріплюють її на лаві в тому місці, де переріз світлового конуса повністю перекриває щілину. Вона повинна бути паралельна спіралі лампи і мати ширину приблизно 0,2 мм.

Потім встановлюють другу щілину; вона повинна бути строго паралельна першій (мал. 9).



Мал. 8.

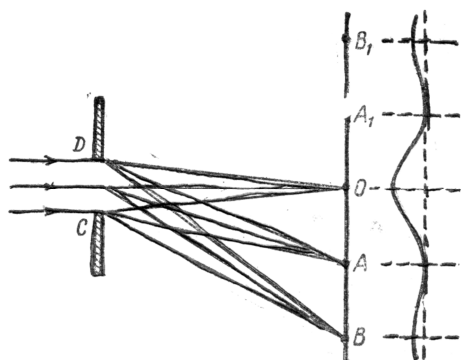
Обережно обертають гвинт розсувної щілини, повільно зменшують її ширину і спостерігають за дифракційною картиною. Спочатку отримаємо світлу смугу з розмитими краями. При подальшому звуженні другої щілини, ширина світлової смуги і її освітленість зменшується і починає з'являтися дифракційна картина.



Мал. 9

Якщо поступово змінювати ширину другої щілини, то можна помітити, як на екрані, в середині світлої смуги з'являється темна смуга (в щілину вкладається парна кількість зон Френеля), а потім зникає (вкладається непарне число зон). Цей результат можна отримати іншим способом. Не змінюючи ширину другої щілини, повільно переміщати її відносно першої, слідкуючи за тим, щоб не порушувалось зображення на екрані.

На мал. 10 показана схема утворення дифракційних смуг та графік їх яскравості. На щілину CD падає плоска хвиля. Згідно принципу Гюйгенса-Френеля кожна її точка стає джерелом



Мал. 10

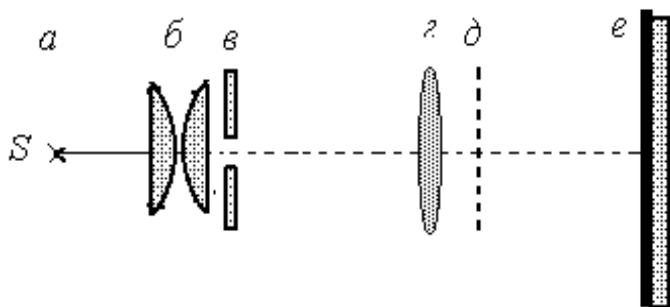
поширення вторинних хвиль, які поширюються в різних напрямках.

Очевидно, хвилі у напрямку O поширюються в однаковій фазі та підсилюють одна одну, утворюючи при цьому яскраву смугу, яка носить назву центрального максимуму.

5. Дифракція світла від дифракційної решітки (гратки)

Обладнання: проекційний апарат, щілина розсувна, дифракційна решітка, світлофільтр, газовий лазер.

1. Для одержання спектра дифракційної картини, збирають установку, зображену на мал. 11. Вертикальна щілина b , шириною $0,5-2\text{ мм}$ за допомогою об'єктива z проектується на екран e . Потім безпосередньо за об'єктивом встановлюють дифракційну решітку d . На екрані одержимо дифракційний спектр, який складається із білої

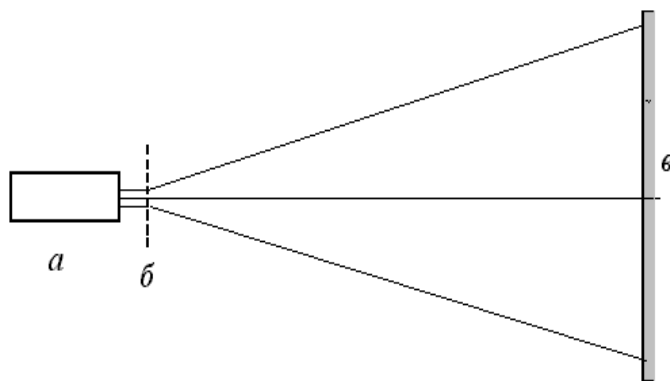


Мал. 11

смуги посередині (центрального максимум) і ряду спектрів, симетрично розміщених справа і зліва від нього. При віддаленні від центра, спектри стають більш широкими, але менш якими. Вони носять назву спектрів першого, другого, третього і т.д. порядку. Спектри всіх

порядків починаються з фіолетового і закінчуються червоним кольором.

2. Для демонстрації дифракційного спектра монохроматичного



Мал. 12

світла збирають установку за схемою (мал. 12). На оптичній лаві розміщують: лазер S , близько біля нього дифракційну решітку b . На екрані e одержуємо ряд червоних смуг (промінь лазера червоний), симетрично розміщених відносно центральної смуги (спектр нульового порядку).

6 Ознайомитись із “Набором для поляризації світла”.

“Набір з поляризації світла” складається з таких деталей:

1) два поляроїди I в оправках з петлями для закріплення на дисках-шарнірах, які входять до комплекту універсального проекційного апарата або набору з інтерференції і дифракції;

2) чорне дзеркало b (металева кругла пластинка з двома петлями, покрита чорним нікелем);

3) стопа Столетова, закріплена в оправі так, щоб поверхня скляних пластинок лежала під кутом 35° до осі пучка світла, який падає на неї;

4) кристал ісландського шпату, приклеєний до пластинки, у металевій оправі з двома петлями;

5) препарат з клаптиків целофану різної товщини і форми, затиснутий між двома окантованими пластинками скла;

6) прес для стискання за допомогою гвинта;

7) деталь з органічного скла у вигляді рейки;

8) модель балки із органічного скла з двома металевими ручками для її згинання.

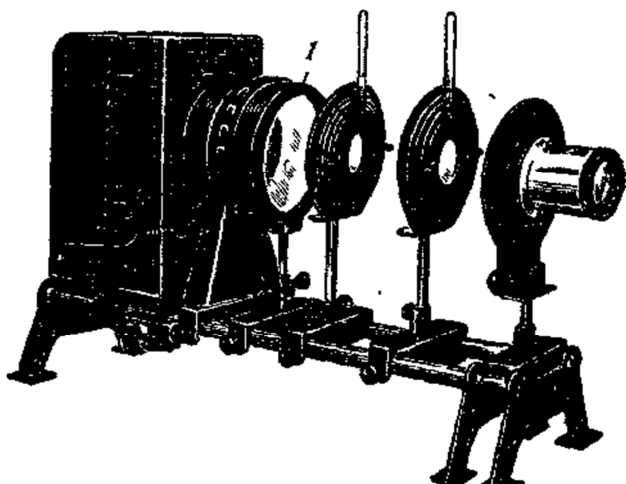
Поляріоди, які входять до комплекту набору, являють собою тоненькі целулоїдні плівки, в які введено велику кількість маленьких кристаликів йодистого хініну (герапатиту), причому так, що вони орієнтовані в одному напрямі.

Поляріод розкладає пучок світла, яке падає на нього, на два пучки, поляризовані у взаємно перпендикулярних площинах. Один з них майже повністю поглинається, а другий проходить майже неослабленим. Поляріоди не витримують тривалого нагрівання понад $70-80^\circ$. Це завжди слід пам'ятати.

7. Поляризація світла поляріодами

Обладнання: апарат проекційний, два поляріоди з набору для поляризації світла, екран проекційний.

Перед тим, як скласти установку, закріплюють поляріоди на ширмах дисків. До поворотних кілець кожного з дисків приклеюють вирізані з білого картону, добре помітні здалеку, стрілки-показчики так, щоб при схрещених поляріодах стрілки розташовувалися перпендикулярно одна до одної.



Мал. 13

Включають лампу проекційного апарата і за конденсором (але не у фокусі) закріплюють поляріод у світловому конусі, що утворився. За допомогою об'єктива проектують освітлену частину поляріода на екран у вигляді досить яскравого кола.

Відмітивши положення стрілки в поляріоді, повертають

його спочатку на 90° , потім на 180° , 270° , 360° . Звертають увагу учнів, що при цьому ніяких змін на екрані не відбувається. Дослід повторюють, але з другим поляроїдом.

Далі збирають установку з двома схрещеними поляроїдами так, щоб стрілки-показчики лежали в одній площині (мал. 13). При цьому поляроїди краще розташувати ближче до конденсора, щоб фокус світлового пучка, що виходить з конденсора, був за другим поляроїдом. За допомогою об'єктива знову проєктують на екран освітлену частину другого поляроїда, повільно повертаючи його на 90° відносно першого. Учні помічають поступове зменшення освітленості кола на екрані аж до максимального гасіння. Подальші повороти на 180° , 270° і 360° призводять відповідно до просвітлення, гасіння і знову до просвітління кола на екрані.

З досліду учні роблять висновок про перпендикулярність коливань у світловому пучку відносно напрямку його поширення. Очевидно, перший поляроїд служить у досліді поляризатором, а другий – аналізатором. Повторюють останній дослід, помінявши місцями поляроїди і переконуються, що кожний з них може служити як поляризатором, так і аналізатором.

8. Поляризація світла при відбиванні

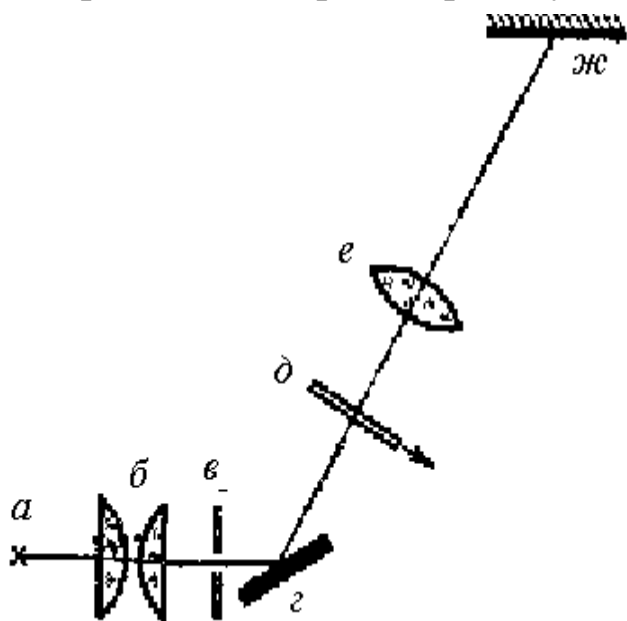
Обладнання: апарат проєкційний, дзеркало чорне і поляроїд з набору для поляризації світла, два дзеркала на штативі, штатив універсальний, екран переносний.

Основна мета досліду полягає в тому, щоб розширити уявлення учнів про явище поляризації світла; показати експериментально, що світло поляризується не тільки при проходженні через поляроїди, як показано в попередньому досліді, але і при відбиванні від поверхні різних речовин.

Установку для досліду збирають на оптичній лаві за схемою, показаною на мал. 14. Тут поляризатором світла служить чорне дзеркало *г*, а аналізатором – поляроїд *д*. Дзеркало закріплюють вертикально на ширмі-диску, встановленому в рейтері лави, і повертають до головної оптичної осі конденсора приблизно під кутом 60° . На шляху відбитого пучка світла поміщають об'єктив *е*. Його встановлюють на висувній частині лави, яку розташовують по ходу пучка відбитих променів. Об'єктив переміщають вздовж пучка й одержують на екрані *ж* світлу круглу пляму – зображення діафрагми *в*.

За об'єктивом або перед ним встановлюють поляроїд, закріплений на ширмі-диску і встановлений у рейтері. Повільно повертають поляроїд навколо горизонтальної осі. На екрані буде ясно видно поступове затемнення і просвітлення плями. Отже, пучок світла, відбитий від дзеркала, виявиться поляризованим.

Після цього повертають дзеркало так, щоб кут падіння пучка світла спочатку став 45° , а потім 75° , і щоразу переставляючи переносний екран, повторюють описаний вище дослід. Зі спостережень на екрані переконуються, що ступінь поляризації світла



Мал. 14

значною мірою залежить від величини кута відбивання.

Найбільша поляризація настає приблизно при 60° . При кутах же, більших або менших 60° , світло поляризується лише частково.

За допомогою освітлювача для тіньового проектування одержують на екрані або стелі “зайчик” при відбиванні пучка світла від поверхні води. У відбитий пучок поміщають поляроїд на ширмі-диску і,

тримаючи його в одній руці, інший повільно повертають на 360° . По затемненню і просвітлінню “зайчика” переконуються в поляризації світла, відбитого від поверхні води.

9. Поляризація світла при заломленні

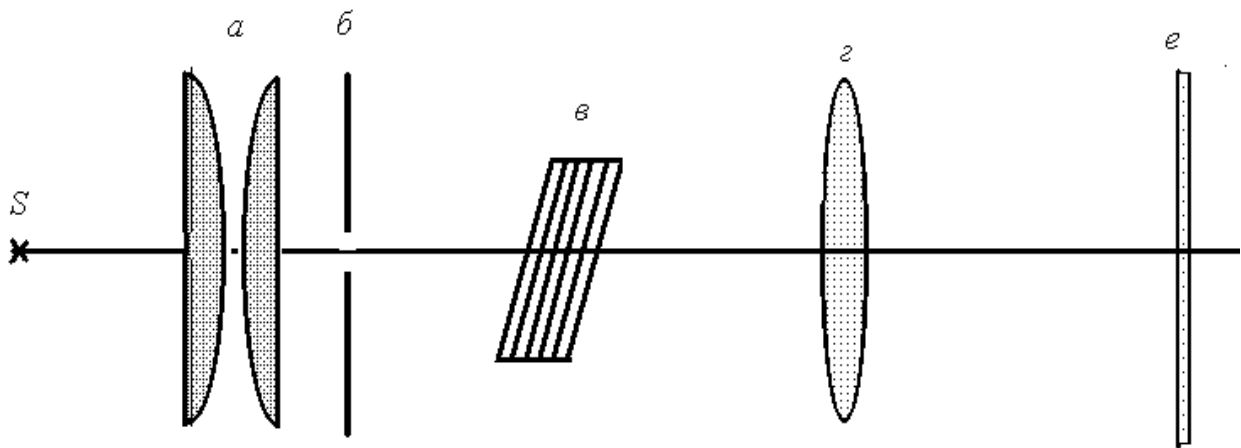
Обладнання: апарат проекційний, стопка скляних пластинок з набору по поляризації, поляроїд, екран проекційний.

Світло, що падає на скляну пластинку під кутом повної поляризації (57°), відбивається від її поверхні, частково заломлюється і проходить крізь пластинку. При цьому, поляризованим виявляється не тільки відбитий пучок світла, як це демонструвалося в попередньому досліді, але й заломлений.

Однак, при заломленні завжди поляризується лише незначна частина світла (кілька відсотків), тому знайти це явище в демонстраційному досліді важко. Але ступінь поляризації можна значно збільшити, якщо багаторазово повторити явище заломлення, тобто пропустити світло через стопку лежачих одна на одній скляних

пластинок. У такій стопці з 15-20 пластинок кожне нове заломлення збільшує поляризацію і її можна наочно знайти за допомогою поляроїда.

Для демонстрації досліду збирають просту установку на лаві проекційного апарата. Перед конденсором освітлювача розміщують за допомогою рейтерів діафрагму і за нею – диск-ширму зі стопкою пластинок. Отвір діафрагми підбирають так, щоб через стопку проходив максимум світла. За стопкою встановлюють об'єктив, а потім – поляроїд (мал. 15). Переміщаючи об'єктив вздовж лави, проектують на екран діафрагму *б* і спостерігають на ньому порівняно світлу пляму (кут повороту поляроїда підбирають заздалегідь).



Мал. 15

Повільно обертають поляроїд навколо головної осі конденсора (роблять повний оберт) і виявляють, що освітленість плями на екрані поступово змінюється: за один оберт світло двічі з'являється і двічі гасне. Таким чином, стопка пластинок є типовим поляризатором і має такі ж властивості, як і поляроїдна плівка. Очевидно, стопка може служити й аналізатором, якщо її помістити перед поляроїдом і повільно обертати в диску-ширмі.

Варто звернути увагу, що стопка зібрана в оправі так, щоб поверхня пластинок була нахилена до головної оптичної осі конденсора під кутом 33° , коли оправа розташована перпендикулярно до неї. Виявляється, в цьому випадку відповідно до закону Брюстера ($n = \tan \varphi$), кут заломлення в склі буде $54^\circ 31'$, тобто це буде кут максимальної поляризації. Якщо в стопці пластинки скла розташувати під іншим кутом, то за інших рівних умов ступінь поляризації світла буде меншою.

10. Дослідження деформацій за допомогою поляризованого світла

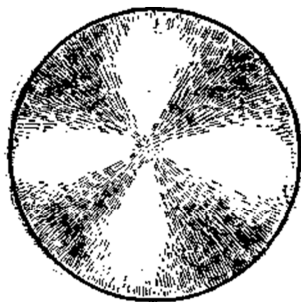
Обладнання: апарат проєкційний, два поляроїди, прес гвинтовий з моделлю рейки, пластинка для демонстрації вигину, пластинка віконного скла, спиртівка, дріт діаметром 2,5-3 мм, екран проєкційний.

Для цього досліду збирають установку по мал. 13. Між поляроїдами розміщують невелику пластинку віконного скла, затиснутого в лапці штативу. За допомогою об'єктива проєктують пластинку на екран, для чого на ній роблять яку-небудь невелику мітку.

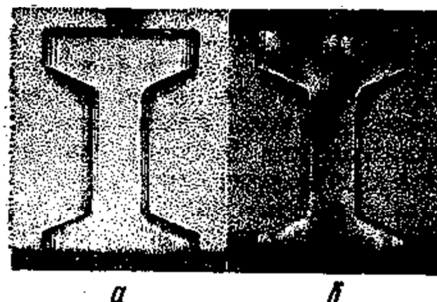
Потім схрещують поляроїди, щоб одержати на екрані майже повне затемнення. Нагрівають на спиртівці або газовому пальнику до червоного кольору кінець дроту і торкаються ним до поверхні скляної пластинки. При такому нерівномірному нагріванні в ній виникає напруженість. Скло втрачає свою ізотропність, стає двозаломлюючим, і на екрані з'являється картина, показана на мал. 16.

Так як подібні напруги виникають у склі і при механічній дії, то можна описаним способом досліджувати розподіл напруг у моделях різної конфігурації при стиску або розтягу.

З цією метою замість пластинки між поляроїдами розміщують на



Мал. 16



Мал. 17

рейтері модель рейки з органічного скла, вставленої в гвинтовий прес. На екран спочатку проєктують зображення моделі при не схрещених поляроїдах (мал. 17 а). Потім поляроїди схрещують, а модель стискають, обертаючи від руки головку гвинта. Тоді на екрані з'являється картина розподілу напруг у моделі (мал. 17 б). Поступово послабляють гвинт преса і звертають увагу, що картина в поляризованому світлі зникає, і поле на екрані знову стає затемненим.

Таким самим способом показують розподіл напруг у вигнутій пластинці. Для зручності демонстрації, пластинку за допомогою

“вушок”, закріплюють на оправі гвинтового преса, знявши з нього попередню модель рейки. При схрещених поляроїдах стискають пластинку двома пальцями за ручки і на екрані виявляють просвітлення верхнього і нижнього краю і темну смугу посередині, що відповідає зоні відсутності напруг.

Завдання III. Виконати лабораторні роботи, додержуючись методичних вимог щодо оформлення їх письмового звіту:

Лабораторна робота №5

“Визначення довжини світлової хвилі за допомогою дифракційної решітки”

Мета роботи: визначити довжину світлової хвилі по положенню головних максимумів в дифракційному спектрі першого порядку.

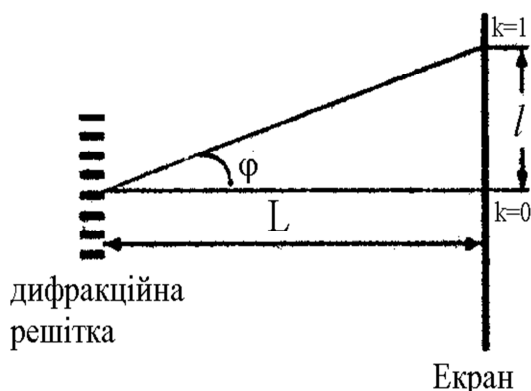
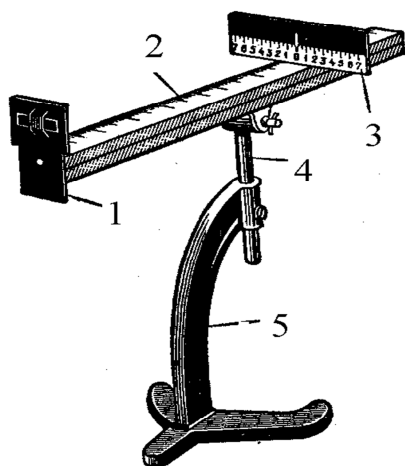
Обладнання: електрична лампа з прямою ниткою розжарення; вимірювальна установка з лінійкою 1мм/под. та екраном з поділками; дифракційна решітка (1/100).

Хід роботи:

1. Розгляньте дифракційну решітку і визначте її період d за формулою

$$d = \frac{1}{N} (\text{мм}), \quad \text{де } N = 100.$$

2. Помістіть дифракційну решітку у рамку 1 приладу і закріпіть його в підставці 5 підйимального столика 4, мал.



мал.

- Дивлячись крізь дифракційну решітку, спрямуйте прилад на джерело світла так, щоб його було видно через вузьку прицільну щілину щитка 3. При цьому по обидва боки екрану на лінійці видно дифракційні спектри кількох порядків. У випадку похилого положення спектрів поверніть решітку на певний кут до усунення перекосу.
- За шкалою визначіть положення середин кольорових смуг l у спектрах першого порядку, мал. . Вимірювання l проведіть для смуг відповідного кольору ліворуч і праворуч та знайдіть середні значення відстаней. Результати запишіть в таблицю 5.1.
- Визначіть за допомогою лінійки 2 відстань від дифракційної

N_0 n/n	$d, м$	$L, м$	$l, м$	n	$\lambda, м$	$\nu, Гц$

решітки до шкали рухомого екрана L .

- Довжину світлової хвилі можна знайти з рівняння

$$\lambda = \frac{d \cdot \sin \varphi}{k}.$$

Так як порядок дифракційного спектру $k = 1$, то $\sin \varphi \approx \tan \varphi = \frac{l}{L}$, і розрахункова формула матиме вигляд

$$\lambda = d \frac{l}{L}.$$

- Розрахуйте довжини хвиль для семи кольорів і запишіть їх в таблицю.
- Повторіть вимірювання при іншій відстані екрана від решітки та для інших дифракційних порядків. Порівняйте отримані результати.
- Направте на дифракційну решітку промінь монохроматичного світла від лазерної указки. Отримайте дифракційну картину. Запишіть в зошиті чим відрізняється ця картина від попередньої.

Зробіть аналогічні попереднім завданням вимірювання і знайдіть довжину хвилі лазерного випромінювання.

10. Зробіть висновок.

Примітка: Якщо в роботі застосувати світлофільтри, то можна точніше виміряти довжину хвилі світла, яке пропускає світлофільтр.

2. Спостереження інтерференції і дифракції світла

Мета роботи: одержати інтерференційні картини різними методами та пояснити їх; розглянути та пояснити дифракційні картини, одержані різними методами.

Обладнання: пластинки скляні — 2 шт.; дротяна рамка на підставці; водний розчин мила; трубочка; лампочка з прямою ниткою розжарення; екран з отворами різного діаметру; шматок шовкової тканини; пташине перо; аркуш чорного паперу.

Хід роботи:

Спостереження інтерференції світла:

1. Опустіть трубочку у мильну воду. Потім вийміть трубочку і видуйте мильну бульбашку. Повертаючи бульбашку роздивіться інтерференційну картину. Опишіть свої спостереження у зошиті.
2. Дві скляні пластинки добре протріть, складіть разом і стисніть пальцями. Розгляньте пластинки у відбитому світлі на темному фоні (розміщувати їх треба так, щоб на поверхні скла утворювались не дуже яскраві відблиски од вікон чи од білих стін).
3. Простежте за зміною форми і розташування одержаних інтерференційних смуг зі зміною товщини повітряного прошарку між ними (зміною натиску на пластинки). Опишіть результати спостережень у зошиті.
4. Опустіть дротяну рамку в мильний розчин. Витягніть її і отримайте мильну плівку. Спрямувавши на плівку світло, розгляньте виникнення інтерференційної картини. Зробіть в зошиті малюнок інтерференційної картини, використовуючи кольорові олівці.

Спостереження дифракції світла:

1. Візьміть екран з отворами різного діаметра. Через отвір в екрані розгляньте точкове джерело світла. Намалюйте дифракційну картину.
2. Спостерігайте дифракційну картину у прохідному світлі за допомогою пташиного пера та шматків шовкової тканини. Зробіть малюнки.

Лабораторна робота № 33

Геометрична оптика

Мета: оволодіти методикою і технікою проведення дослідів з теми „Геометрична оптика”. Виконати шкільні лабораторні роботи, передбачені програмою.

Завдання I. Опрацювати відповідний навчальний матеріал за шкільними та вузівськими підручниками.

Завдання II. Ознайомитись із приладом для вивчення законів геометричної оптики та пристроями, що додаються до нього.

Для демонстрації дослідів з оптики, крім основних приладів, потрібно насамперед правильно підібрати джерела світла, приймачі світла й індикатори струму. Вони повинні бути добре узгоджені між собою, і з необхідною допоміжною апаратурою, яка є в шкільних фізичних кабінетах.

Джерелами світла можуть служити електричні лампи: автомобільні, освітлювальні (газонаповнені) і проєкційні. Автомобільні лампи ближче інших підходять до так званих „точкових” джерел світла.

Про силу світла освітлювальних ламп можна судити за їх потужністю.

Якщо необхідно порівняно сильне джерело світла, можна використати проєкційну лампу потужністю *300 Вт*. У цієї лампи нитка розжарення утворює невелику площадку з мінімальною відстанню між окремими секціями, що робить її зручною для деяких дослідів.

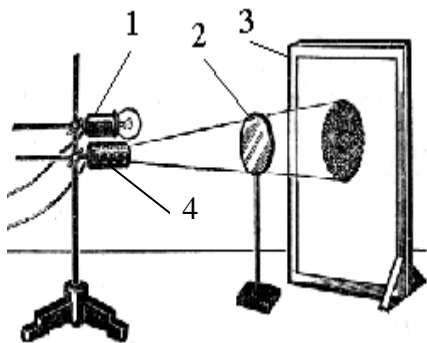
Приймачами світла можуть бути: термостовпчик, напівпровідниковий фотоелемент і око.

Найважливішою властивістю будь-якого приймача є його чутливість до різних частот падаючого випромінювання. Кращим приймачем у цьому змісті є термостовпчик. Однак він має теплову інертність – порівняно довго нагрівається. Тому для демонстраційних дослідів зручніше використати напівпровідникові фотоелементи, які реагують на світло практично миттєво. У них, як і для термостовпчика, залежність між струмом і світловим потоком майже лінійна. Варто мати на увазі, що чутливість фотоелементів залежить не тільки від інтенсивності падаючих на них променів, але і від спектральних сполук з яких вони виготовлені.

Індикатором струму може бути чутливий демонстраційний гальванометр М1032, а у випадку застосування сірчисто-срібного фотоелемента – демонстраційний гальванометр з чутливістю $5 - 10^5 A/под.$

Візуальні фотометричні спостереження й вимірювання виконуються за допомогою найпростіших фотометрів і люксометрів. Вони носять відносний характер і дають похибку 10-20%. Роль ока в цих вимірах зводиться до встановлення рівності освітленості двох поверхонь.

Щоб підвищити точність вимірів і чіткість таких демонстраційних дослідів, необхідно прагнути до створення найкращих умов для роботи ока: при порівнянні користуватися джерелами світла з близькими спектральними характеристиками, підтримувати високий рівень освітлення й адаптувати око на темряву.

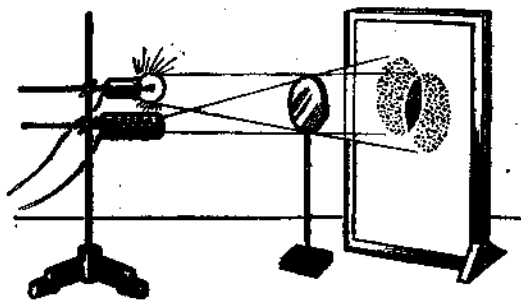


Мал. 1

Завдання III. Набути вмінь і навичок у виконанні таких демонстрацій:

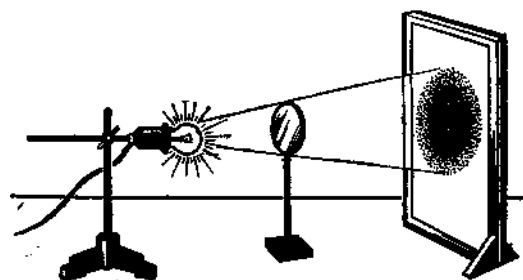
1. Одержання тіні та напівтіні

Обладнання: освітлювач для тіньового проектування і підсвітка, патрон комбінований з автомобільною лампою, лампа електрична з матовим склом, джерело живлення, вимикачі однополюсні демонстраційні — 2 шт., з'єднувальні провідники, екран настільний, штатив універсальний, диск картонний діаметром приблизно 80 мм.



Мал. 2

Для демонстрації дослідів збирають установку зображену на мал. 1. За допомогою універсального штатива закріплюють близько один від одного освітлювач для тіньового проектування 4 і комбінований патрон з автомобільною лампою 1. Обидві лампи підключають паралельно до



Мал. 3

джерела живлення. На відстані $1-1,5\text{ м}$ від лампи встановлюють екран 3, а перед ним – картонний диск 2. Після затемнення переходять до демонстрації дослідів.

Спочатку вмикають лампу освітлювача для тіньового проектування, і проєктують на екран тінь від картонного диска.

Учням показують, що при точковому джерелі, внаслідок прямолінійного поширення світла, форма тіні повторює форму диска (якщо площа диска паралельна до екрана). При наближенні диска до джерела світла розміри тіні на екрані збільшуються, а при – віддаленні зменшується. При цьому вона завжди має досить різку межу.

Після вмикання другої лампи на екрані одержують тінь і дві півтіні (мал. 2). При послідовному вмиканні кожної з ламп і обох разом переконуються, що тінь на екрані утвориться в тому місці, куди не падає світло від ламп, а півтінь – там, куди падає світло лише від однієї лампи. Очевидно, що на освітлену частину екрана падає світло від обох ламп.

Показують, що при зближенні ламп, область повної тіні збільшується, а область напівтіней зменшується, а при віддаленні – область повної тіні зменшується, а напівтіней збільшується. Починаючи з деякої відстані, тінь зникає зовсім, а на екрані залишаються тільки дві круглі півтіні, розміри яких збільшуються при наближенні диска до ламп.

Нарешті, демонструють дослід з однією лампою, балон якої зроблений з матового або молочного скла. При такому джерелі світла, на екрані спостерігають тінь від диска, оточену півтінями (мал. 3).

2. Одночасне відбивання і заломлення світла на межі двох середовищ

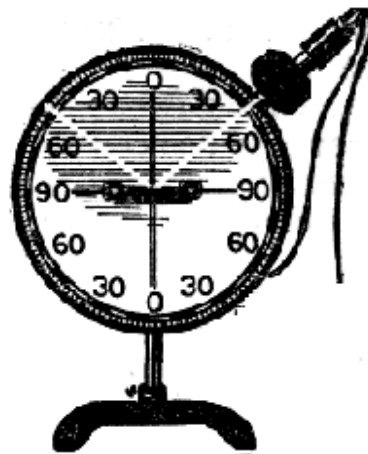
Обладнання: диск оптичний (шайба Гартля), джерело живлення, вимикач однополюсний, з'єднувальні провідники.

Скляний півциліндр закріплюють у центрі оптичного диска так, щоб плоска грань співпала з діаметром диска (мал. 4). Лампу освітлення підключають через однополюсний вимикач до джерела живлення напругою 6-8 В. Затемнюють кімнату і встановлюють освітлювач у верхньому положенні диска під кутом 30° - 40° до вертикального діаметра диска. Спостерігаючи за пучком світла на границі двох середовищ „повітря – скло”, роблять висновок, що пучок світла роздвоюється: частина його відбивається від плоскої поверхні скла і проходить по диску вверх, а друга частина проходить через скло, відхиляючись від попереднього напрямку.

Ці явища називають відповідно відбиванням і заломленням світла.



Мал. 4



Мал. 5

Змінюючи напрямок падаючого пучка шляхом переміщення освітлювача, демонструють зміну напрямків відбитого і заломленого пучка світла.

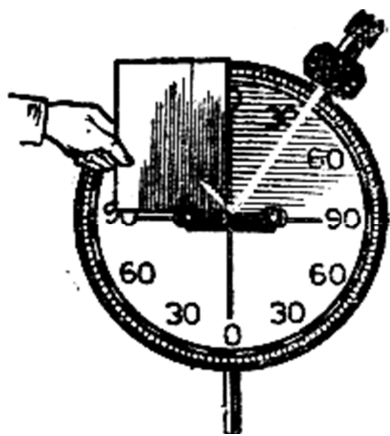
3. Закони відбивання світла

Обладнання: диск оптичний із плоским дзеркалом, джерело живлення, вимикач однополюсний демонстраційний, з'єднувальні провідники, лист білого щільного паперу.

Збирають установку згідно мал. 5. У центрі оптичного диска закріплюють плоске дзеркало так, щоб його відбивна поверхня збігалася з діаметром диска. Попередньо перевіряють рівність кутів падіння і відбивання пучків світла при різних положеннях освітлювача. Після цього трохи затемнюють клас і переходять до демонстрації досліду.

Освітлювач встановлюють у правій верхній частині диска і спостерігають падаючі і відбиті пучки світла.

Для встановлення законів відбивання світла послідовно змінюють напрямок падаючого пучка і через кожні 10° вимірюють кути падіння і відбивання. Результати вимірювань записують на класній дошці. Звертають увагу учнів на рівність цих кутів.



Мал. 6

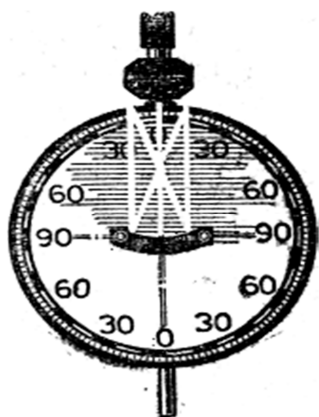
Потім показують, що падаючі і відбиті пучки світла лежать в одній площині. Для цього листом щільного паперу закривають ту чверть диска, де проходить відбитий пучок. Якщо папір щільно притиснутий до диска, то на ньому видно весь відбитий пучок, а якщо ж його повернути, як показано на мал. 6, то на папері буде видно тільки початок відбитого пучка.

На закінчення освітлювач переводять у ліву сторону диска і дослід повторюють, демонструючи властивість оборотності світлових пучків.

4. Відбивання світла від сферичних дзеркал

Обладнання: вгнуте і опукле дзеркала з набору лінз і дзеркал, апарат проєкційний, диск оптичний з угнутим й опуклим сферичними дзеркалами, джерело живлення, вимикач однополюсний демонстраційний, з'єднувальні провідники.

З проєкційного апарата забирають об'єктив і передню лінзу конденсора. За допомогою лінзи, що залишилася, одержують паралельний пучок світла. Щоб світловий пучок був добре помітний усім учням класу, його направляють вздовж демонстраційного столу, а повітря перед проєкційним апаратом задимляють; при цьому клас повинний бути затемнений.



Мал. 9

У паралельний пучок світла вносять вгнуте сферичне дзеркало. Спостерігають, як відбитий пучок, змінивши свій напрямок, поступово звужується, а потім розширюється (мал. 7). Потім у пучок світла вносять опукле дзеркало і спостерігають, що світло від дзеркала поширюється розбіжним пучком (мал. 8).

Наступні досліди проводять з оптичним диском. Освітлювач диска встановлюють у верхнє положення так, щоб центральний пучок світла був спрямований уздовж діаметру $0^\circ-0^\circ$. У центрі диска

закріплюють вгнуте дзеркало (мал. 9). З підготовленою установкою в затемненому класі можна провести такі демонстрації:

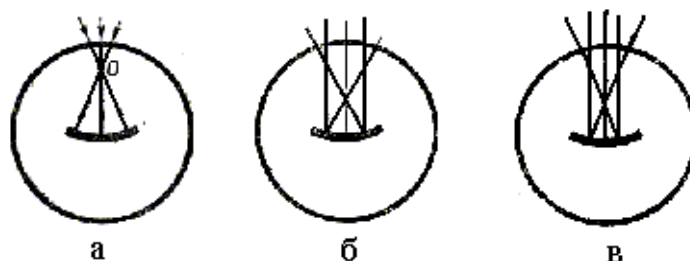
1. Відкрити середню щілину освітлювача й одержати на екрані пучок, який зображає головну оптичну вісь дзеркала.

Бічні пучки направляють так, щоб вони проходили через геометричний центр дзеркала. Звертають увагу на те, що пучки світла, які проходять через геометричний центр дзеркала, після відбивання йдуть у зворотному напрямку (мал. 10 а).

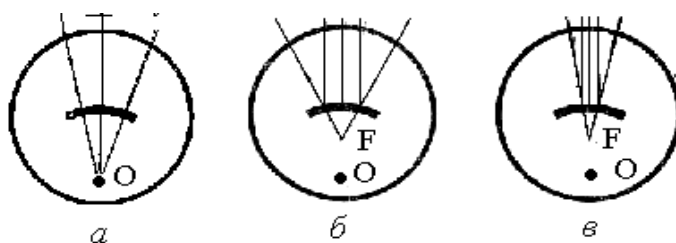
2. На вгнуте дзеркало направляють три пучки, паралельні головній оптичній осі. Після відбивання від дзеркала, пучки перетинаються в одній точці – головному фокусі дзеркала (мал. 10 б). Цю точку потрібно помітити і показати, що головна фокусна відстань дзеркала дорівнює половині його радіуса.

Тоді бічні пучки світла роблять збіжними, а потім розбіжними. У першому випадку точка перетину пучків буде нижче, а в другому – вище головного фокуса.

3. Бічні пучки направляють на дзеркало так, щоб вони попередньо перетнули головну оптичну вісь у точці, яка лежить перед дзеркалом. Якщо ця точка збігається з головним фокусом дзеркала, то відбиті пучки будуть паралельні (мал. 10 в). Якщо ж не збігається, – то вони будуть або сходитись, або розходитись.



Мал. 10



Мал. 11

Замість угнутого дзеркала ставлять опукле, і демонструють аналогічну серію дослідів:

1. Центральний пучок світла направляють вздовж головної оптичної осі дзеркала. Відбитий пучок піде у зворотному напрямку (мал. 11 а). Повертаючи освітлювач вправо та вліво, направляють падаючий пучок так, щоб він співпав з відбитим. Переконаються, що продовження падаючих пучків за дзеркало кожен раз проходять через одну і ту саму точку — геометричний центр дзеркала.

2. На опукле дзеркало направляють три пучки, паралельні головній оптичній осі. Відбиті пучки розходяться в різні сторони (мал. 11 б). Якщо відбиті пучки продовжити за дзеркало, то вони перетнуться в уявному фокусі дзеркала, яке лежить за дзеркалом (на головній оптичній осі) посередині радіуса.

3. Бічні пучки світла направляють на дзеркало так, щоб їх продовження за дзеркало проходило через уявний головний фокус. Після відбивання від дзеркала, пучки йдуть паралельно головній оптичній осі (мал. 11 в).

5. Закони заломлення світла

Обладнання: диск оптичний, скляний півциліндр.

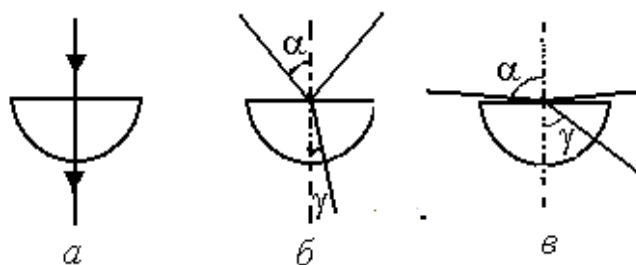
Скляний півциліндр закріплюють на оптичному диску так, щоб його плоска грань співпала з діаметром диска (мал. 4).

Демонструють заломлення світла при переході з повітря в скло.

Спочатку показують, що перпендикулярний промінь світла проходить півциліндр без зміни свого напрямку (мал. 12 а). Потім освітлювач повертають на деякий кут і спостерігають роздвоєння падаючого променя, одна частина якого відбивається, а інша — проходить з повітря в скло.

Звертають увагу учнів на те, що заломлений пучок іде по радіусу всередині півциліндра, тому він виходить зі скла без зміни свого напрямку (мал. 12 б).

Показують, що при зміні кута падіння, змінюється і кут заломлення, але він завжди залишається меншим від кута падіння.



Мал. 12

Якщо кут падіння променя наближається до 90° , то кут заломлення

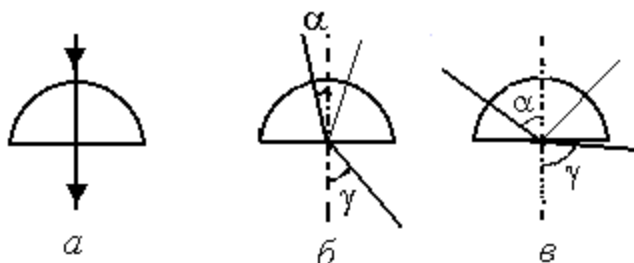
для скла зростає до максимального значення 42° (мал. 12 в), який називають граничним.

При збільшенні кута падіння помітно зростає яскравість відбитого пучка і зменшується заломленого. Також збільшується ширина заломленого пучка, а відбитого – залишається постійною.

Для встановлення закону заломлення через кожні 10° - 20° вимірюють кути падіння α і заломлення γ . Результати вимірювань, числові значення синусів кутів і їх відношення, записують у таблицю. Показують, що:

$$\frac{\sin \alpha}{\sin \gamma} = \text{const.}$$

Демонстрацію заломлення світла, при переході з оптично більш густого середовища у менш густе, починають з пучка, що іде по



Мал. 13

нульовому діаметру диска. Направляють пучок світла на опуклу поверхню півциліндра (мал. 13 а). У цьому випадку пучок проходить півциліндр без заломлення.

Потім направляють пучок під деяким кутом. Звертають увагу на те, що пучок при вході в скло не заломлюється, а при виході зі скла – відхиляється від початкового напрямку, причому кут заломлення стає більшим за кут падіння (мал. 13 б).

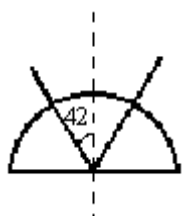
Кут падіння збільшують доти, поки кут заломлення не наблизиться до прямого, але так, щоб не досягнути повного відбивання (мал. 13 в). Одночасно із заломленим пучком спостерігають відбитий; він буде тим яскравіший, чим більший кут падіння. Яскравість заломленого пучка відповідно буде послаблюватись.

6. Явище повного відбивання і його використання

Обладнання: диск оптичний зі скляним півциліндром, апарат проєкційний, ванна скляна (або акваріум), екран для ванни, U-подібна

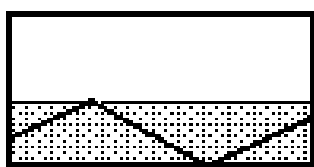
скляна трубка, столик піднімальний, світлофільтр червоний, куля металева закопчена, вода або гас.

Збирають установку (мал. 13 в) і повторюють демонстрацію заломлення світла, що іде з оптично більш густого середовища, у менш густе. Спостереження ведуть одночасно за трьома пучками: падаючим, відбитим і заломленим.

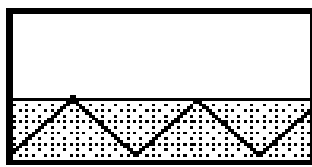


Мал. 14

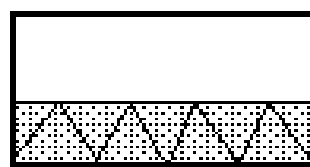
Зі збільшенням кута падіння, частка відбитого світла від плоскої поверхні скла зростає, а заломленого — зменшується. Як тільки кут падіння досягне деякого граничного значення — 42° , заломлений пучок почне ковзати вздовж плоскої грані півциліндра, і при незначному збільшенні кута падіння — зникає зовсім. При цьому яскравість відбитого пучка різко зростає і стає однаковою з яскравістю падаючого пучка.



а



б



в

Мал. 15

При подальшому збільшенні кута падіння спостерігається тільки відбитий пучок. Він виходить зі скла без заломлення і залишає на поверхні диска добре видимий слід (мал. 14). Це явище називають повним відбиванням світла.

Повне відображення знаходить широке застосування в різних оптичних приладах, зокрема, у світлопроводах. Найпростішу модель світлопроводу демонструють на такій установці (мал. 15). Поруч із проекційним апаратом або газовим лазером поміщають акваріум з водою. Направляють вузький пучок світла на бічну стінку акваріума.

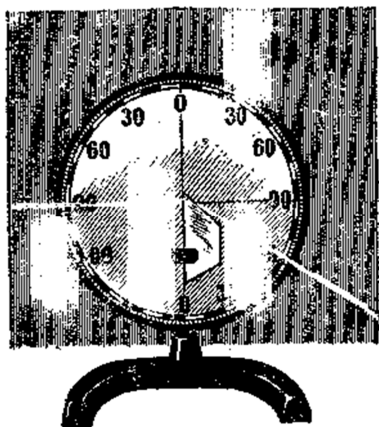


Мал. 16

У воді пучок заломлюється, а потім повністю відбивається від поверхні води і виходить з ванни з протилежної сторони, зазнавши ще раз заломлення. Щоб краще бачити хід пучка, у ванну вносять білий екран, або підливають розчин флюоресцеїну. Змінюючи кут падіння, демонструють багаторазове повне відбивання пучка від поверхні води і дна ванни — модель поширення світла у світловоді (мал. 15).

Попередній дослід варто продовжити з *U*-подібною трубкою, заповненою гасом або водою (мал. 16).. Вихідний пучок світла направляють вертикально вниз. Пучок світла вносять у трубку з рідиною так, щоб він входив тільки в одне коліно. При цьому рідина в трубці починає світитися по всій довжині, начебто світло поширюється не прямолінійно, а криволінійно, відповідно до кривизни трубки.

Явище, яке спостерігається, пояснюють повним відбиванням світла на границі „скло–повітря” і частковим розсіюванням світла. Багаторазове відбивання на границі „гас–скло” (або „вода–скло”) не має значення через малу відмінність показників заломлення цих середовищ.



Мал. 17

7. Заломлення і повне відбивання світла в призмі

Обладнання: диск оптичний, апарат проекційний, діафрагми з однією розсувною щілиною, діафрагма з двома щілинами, скляна пластинка, скляна призма, світлофільтр.

На оптичному диску закріплюють скляну пластинку, яка має форму трапеції. Вершина гострого кута 45° повинна небагато виступати за центр диска (мал. 17). На грань пластинки, яка відіграє роль призми, направляють вузький горизонтальний пучок світла. Пучок світла, здійснивши подвійне заломлення, виходить у повітря, помітно відхилившись від свого попереднього напрямку. Кут відхилення приблизно відраховують по градусних поділках диска.

Повертаючи повільно диск із призмою, показують, що кут відхилення заломленого пучка змінюється і досягає мінімального значення тоді, коли кут входу пучка дорівнює куту виходу.

Потім у центрі диска встановлюють пластинку гострим кутом 60° і повторюють дослід. Виявляється, чим більший заломлюючий кут призми, тим більший кут найменшого відхилення пучка. Для даної скляної призми, із заломлюючими кутами 45° і 60° , кути найменшого відхилення рівні 25° і 40° .

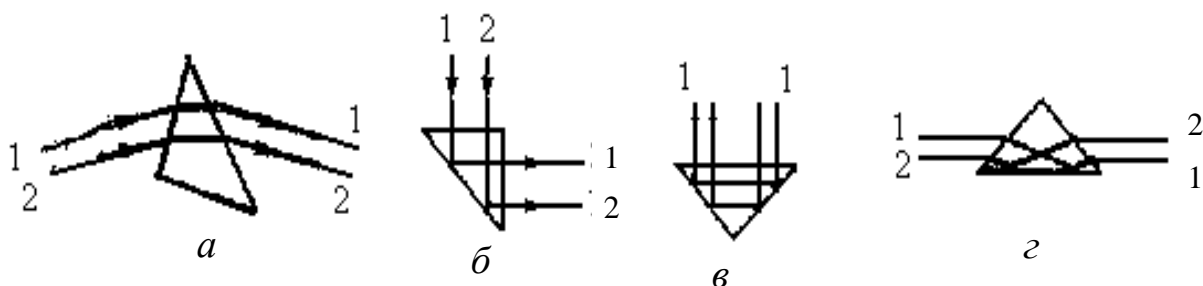
Пластинку у вигляді трапеції замінюють рівнобедреною прямокутною призмою. Її закріплюють на диску так, щоб грань, що лежить проти прямого кута, збігалася з діаметром диска.

Два вузьких горизонтальних пучки світла направляють на призму. Спочатку пучки світла направляють на катет призми під деяким гострим кутом, і спостерігають звичайне заломлення світла. Заломлені пучки відхиляються до основи призми (мал. 18 а).

Пучки напрямлені перпендикулярно до одного з катетів призми – не заломлюються і падають на гіпотенузу під кутом 45° (мал. 18 б).

Тут будемо спостерігати повне відбивання, тому що кут падіння більший граничного – 42° і пучки виходять із призми перпендикулярно до другого катета, не змінюючи свого напрямку. Таким чином, призма повертає пучки світла на 90° .

Після цього пучки направляють перпендикулярно гіпотенузі призми. Пучки проходять цю грань без зміни свого напрямку, двічі відбиваються і виходять із призми (мал. 18 в), міняючись місцями.



Мал. 18

Нарешті, пучки направляють паралельно гіпотенузі призми на один з її катетів. Після подвійного заломлення й однократного повного відбивання, пучки виходять із призми по тому ж напрямку, міняючись місцями (мал. 18 з).

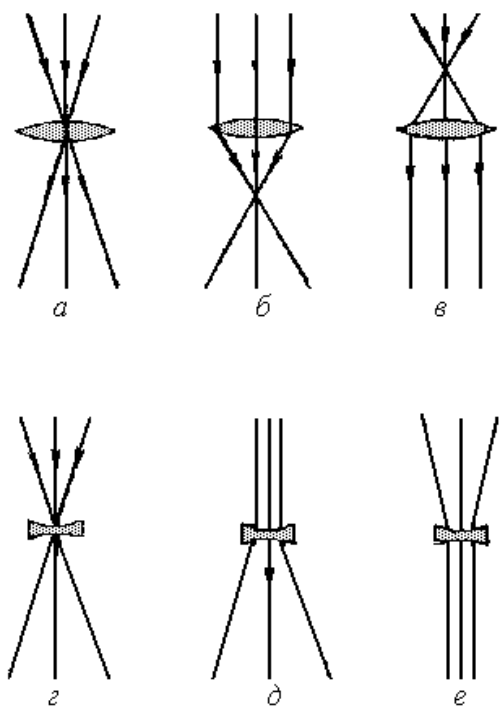
8. Хід променів у збиральній та розсіювальній лінзі

Обладнання: прилад для вивчення законів оптики, апарат проєкційний, лінзи порожнисті наливні: двоопукла і двоугнута, ванна скляна (або акваріум), штатив універсальний, насичений розчин кухонної солі.

Прилад для вивчення законів геометричної оптики встановлюють так, щоб на екрані були чіткі паралельні вузькі промені світла.

З підготовленою установкою в затемненому класі демонструють наступні досліди:

1. Відкривають середню щілину й одержують на екрані білу смужку, яка зображає головну оптичну вісь лінзи. Потім направляють



Мал. 19

пучки вздовж побічних оптичних осей лінзи (мал. 19 а). Звертають увагу на те, що всі три пучки проходять оптичний центр лінзи майже без зміни свого напрямку.

2. На лінзу направляють три пучки, паралельні головній оптичній осі. Пройшовши лінзу, пучки перетинаються в одній точці – головному фокусі лінзи (мал. 19 б). За допомогою лінійки вимірюють головну фокусну відстань лінзи. Після цього пучки роблять збіжними і розбіжними. У першому випадку, їх точка перетину виявляється вище, а в другому – нижче головного фокуса.

3. Бічні пучки направляють на лінзу так, щоб вони попередньо перетнули головну оптичну вісь у точці, яка лежить перед лінзою. Якщо ця точка збігається з головним фокусом, то після лінзи пучки йдуть паралельно (мал. 19 в), в іншому випадку – будуть або збіжні, або розбіжні.

Аналогічну серію дослідів проробляють з угнутою лінзою:

1. Спочатку пучки світла направляють через оптичний центр лінзи. Пучки проходять лінзу, зберігаючи свій початковий напрямок (мал. 19 г). Бічне зміщення крайніх пучків виявляється ледь помітним. Останнє пояснюється тим, що середина в розсіювальній лінзі тонша, ніж у збиральній.

2. На лінзу направляють три паралельні пучки, які пройшовши лінзу, розходяться в різні сторони. Причому кожен пучок поступово розширюється і тому швидко зменшується їх яскравість (мал. 19 д). Точка перетину цих ліній з головною оптичною віссю лінзи буде уявним фокусом лінзи. Вимірюють величину головної фокусної відстані.

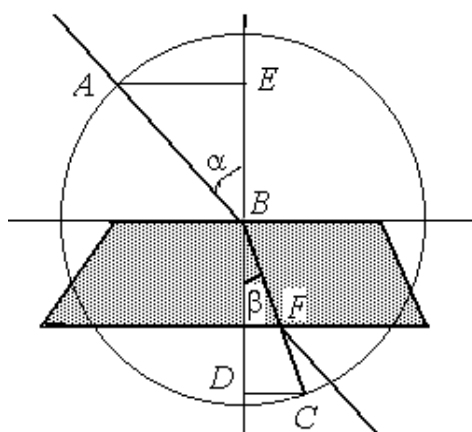
3. Пучки світла направляють на лінзу так, щоб їх продовження за лінзою проходило через головний фокус лінзи. Після лінзи пучки йдуть паралельно до головної оптичної осі (мал. 19 е).

Учні повинні твердо запам'ятати хід цих пучків через лінзи, тому що їх використовують для побудови зображень.

Завдання III. Виконати лабораторні роботи, дотримуючись методичних вимог, щодо оформлення їх письмового звіту:

1. Визначення показника заломлення скла

Обладнання: скляна пластинка, що має форму трапеції, аркуш паперу, лінійка.



Мал. 19

Теоретичні відомості

На межі двох середовищ промінь світла змінює свій напрям. Якщо друге середовище прозоре, то частина променя світла піде в нього, змінивши, як правило, напрям свого поширення. Промінь, який поширюється в першому середовищі, називається падаючим, а та частина його, яка поширюється в другому середовищі – заломленим променем. Кут α між падаючим променем і перпендикуляром, опущеним у точку падіння на межу двох середовищ, називається кутом падіння, а кут β між заломленим променем і перпендикуляром називається кутом заломлення. Згідно із законом заломлення, відношення синуса кута падіння до синуса кута заломлення для двох середовищ є величина стала.

$$n = \frac{\sin \alpha}{\sin \beta} \quad (1)$$

Величину n називають показником заломлення другого середовища відносно першого. Його можна знайти таким чином.

Пластинку розміщують на аркуші паперу так, щоб одна з її паралельних граней збігалася із завчасно відміченою лінією на папері. Ця лінія позначатиме межу поділу “повітря–скло”. Проводять лінію вздовж другої паралельної грані, яка зображає межу поділу “скло–повітря”. Після цього, не зміщуючи пластинки, напрямляють на неї вузький пучок світла. Вздовж променя ставлять олівцем точки і після вимкнення лампочки, з’єднують їх (мал. 19). Далі за допомогою циркуля будують коло з центром в точці B і – прямокутні трикутники ABE і CBD .

Оскільки $\sin \alpha = \frac{AE}{AB}$, $\sin \beta = \frac{CD}{BC}$ і $AB = BC$, то формула (1)

для визначення показника заломлення скла матиме вигляд:

$$n = \frac{AE}{DC}. \quad (2)$$

Дослід повторити декілька разів для різних значень кута падіння і визначити показник заломлення. Результати вимірювань занести до таблиці.

Висновок:

2. Визначення оптичної сили і фокусної відстані збиральної лінзи

Обладнання: лінійка, два прямокутних трикутники, довгофокусна збиральна лінза, лампочка на підставці, джерело струму, вимикач, з'єднувальні провідники, екран, напрямна рейка.

Теоретичні відомості

Найпростіший спосіб вимірювання оптичної сили і фокусної відстані лінзи ґрунтується на використанні формули лінзи:

$$\frac{1}{d} + \frac{1}{f} = D, \quad \text{або} \quad \frac{1}{d} + \frac{1}{f} = \frac{1}{F}.$$

Як предмет беруть нитку розжарення лампочки, дійсне зображення якої утворюється на екрані.

Порядок виконання роботи:

1. Скласти коло, приєднавши лампочку до джерела струму через вимикач.
2. Поставити лампочку й екран на стіл, а між ними встановити лінзу.
3. Переміщаючи лінзу вздовж рейки знайти на екрані чітке збільшене і зменшене зображення нитки розжарення.
4. Ретельно виміряти відстані d і f .
5. Не змінюючи відстані між екраном і лампочкою, повторити дослід кілька разів. Кожен раз треба намагатися отримати чітке зображення предмета. Обчислити: f_c , D_c , F_c .
6. Обчислити абсолютну похибку ΔD вимірювання оптичної сили лінзи. Результати записати у вигляді: $D - \Delta D \leq D \leq D + \Delta D$.

7. Результати вимірювань і обчислень записати в таблицю.

$N_{\text{д}}$ n/n	$d, \text{м}$	$f, \text{м}$	$F, \text{м}$	$D, \text{днтр}$
1				
2				
3				
Сер.				

Висновок:

Лабораторна робота № 34

Випромінювання і спектри

Мета: оволодіти методикою і технікою шкільного фізичного експерименту з теми "Випромінювання і спектри".

Завдання I. Опрацювати відповідний навчальний матеріал за шкільними і вузівськими підручниками.

Завдання II. Набути умінь і навичок у виконанні таких демонстрацій:

1. Одержання суцільного спектра

Обладнання: проекційний апарат, призми дисперсійні "Крон" і "Флінт", призма прямого зору, екран.

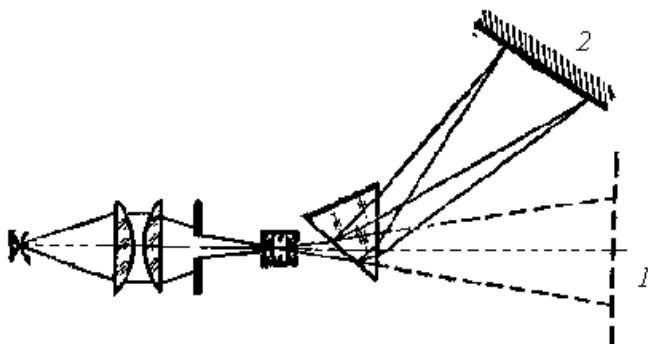
Одержання яскравого й чіткого суцільного спектра на екрані, необхідно не тільки для демонстрації явища дисперсії, але і для демонстрації лінійчатих спектрів випромінювання, спектрів поглинання, додавання спектральних кольорів і проведення інших дослідів.

Установка збирається на лаві проекційного апарата з освітлювача, щілини, об'єктива і тригранної призми „Флінт”, як показано на схемі (мал. 1).

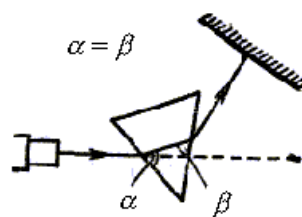
За допомогою об'єктива одержують на екрані збільшене, чітке, рівномірно освітлене зображення щілини.

Після об'єктива на піднімальному столику встановлюють призму так, щоб її заломлююче ребро було паралельне щілині, а весь пучок світла проходив крізь грані заломлюючого кута. Тоді на екрані, переставленому з положення 1 у положення 2, при повному затемненні класу, буде добре видно суцільний спектр.

Для більш точної установки призми її злегка повертають



Мал. 1



Мал. 2

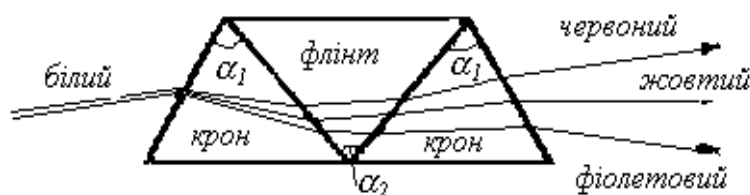
навколо вертикальної осі доти, поки кут між пучком світла, що виходить із призми, і головною оптичною віссю об'єктива не стане мінімальним (метод мінімального відхилення заломленого променя). У такому положенні заломлений пучок світла буде спрямований паралельно основі призми, і утворить з бічними гранями рівні кути (мал. 2).

Щоб показати залежність довжини спектра від роду речовини призми (при тому самому заломлюючому куті), дослід продовжують із другою призмою такого ж розміру, але „Крон”. Призму „Крон” встановлюють на першу призму так, щоб їхні площини і ребра збіглися, а пучок світла з об'єктива - попадав на обидві призми. При цьому на екрані одержуємо одночасно два спектри, які зручно порівнювати (спектр від призми „Флінт” виявляється більш розтягнутим).

Суцільний спектр виходить значно яскравіший і чіткіший, якщо користуватися призмою прямого зору. У цьому випадку екран встановлюють на продовженні головної оптичної осі конденсора й об'єктива. В іншому - підготовка установки для одержання спектра із призмою прямого зору не відрізняється від описаної вище. Учням треба коротко розповісти про будову призми прямого зору, і по мал. 3 пояснити хід крайніх пучків видимого спектра (червоного і фіолетового). При цьому можна вказати, що в такій призмі кути α_1 та α_2 і показники заломлення n_1 і n_2 підібрані так, щоб один з кольорових пучків виходив із призми по напрямку падаючого пучка, а дисперсія виходила б по можливості найбільшою.

2. Додавання спектральних кольорів

Обладнання: апарат проєкційний, призма дисперсійна „Флінт” або призма прямого зору, прилад для додавання кольорів спектра, екран.



Мал. 3

Одержавши за допомогою проекційного апарата й призми прямого зору яскравий і чіткий суцільний спектр на переносному екрані, поміщають за нею прилад для додавання кольорів спектра (мал. 4). Установку збирають за схемою, зображеною на мал. 4 а.

Відстань від приладу до призми підбирають такою, щоб весь спектр (від червоних до фіолетових променів) потрапляв на дзеркала приладу.

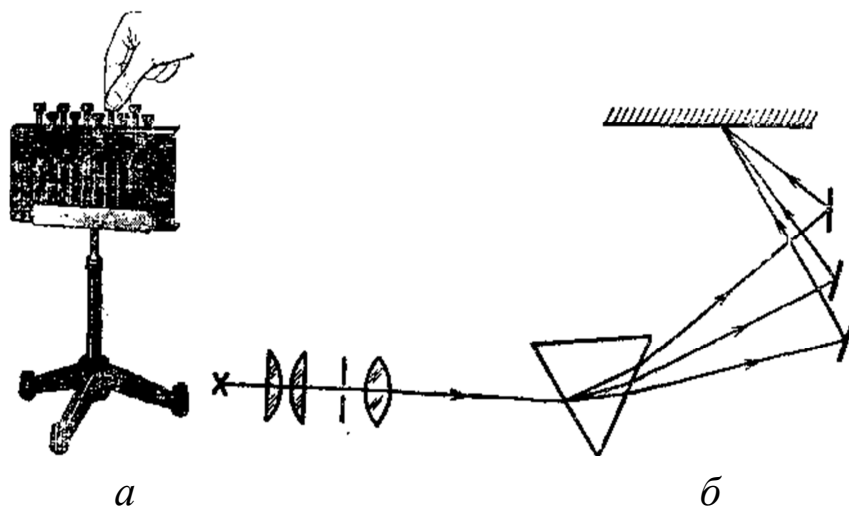
Внаслідок відбивання пучків від дзеркал приладу, на екрані, який переміщений тепер у нове положення, одержують окремі монохроматичні смуги. Не змінюючи установки, обережно повертають за головки дзеркала так, щоб усі відбиті до екрана монохроматичні пучки світла зібралися в одну вузьку смужку. Кольори спектра, накладаючись один на один, дадуть на екрані білий колір, близький до того, який дає джерело світла.

По черзі, накладаючи на екран кольорові смуги, одна на одну, можна демонструвати змішування двох або декількох окремих кольорів, наприклад, жовтого із синім (виходить зелений), червоного з жовтим (виходить жовтогарячий) і т.д.

Збираючи на екрані в одну смужку всі кольори спектра, крім одного, наприклад, червоного, одержують порівняно яскраву зелено-блакитну смужку. Поруч із нею поміщають червону. Звертають увагу на те, що ці кольори є додатковими: при їх накладанні утворюється білий колір.

Таким самим прийомом показують утворення ще декількох інших пар додаткових кольорів.

3. Одержання лінійчатого спектра випромінювання



Мал. 4

Обладнання: освітлювач ультрафіолетовий, призма прямого зору або дисперсійна.

Найбільш просту й зручну установку для спостереження на екрані лінійчатого спектра випромінювання можна одержати при використанні ртутно-кварцевої лампи. У цьому випадку вся підготовка установки проводиться так само, як і для одержання суцільного спектра (див. дослід 1). Тільки замість освітлювача з лампою розжарення встановлюють на оптичній лаві проекційного апарата ультрафіолетовий освітлювач із ртутно-кварцевою лампою. На екрані учні зможуть побачити лінії спектра парів ртуті.

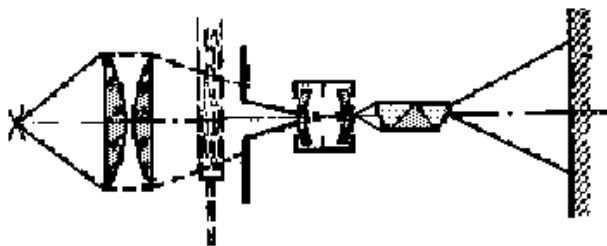
4. Демонстрація спектрів поглинання

Обладнання: апарат проекційний, призма прямого зору, спиртівка або свічка, кювета прямокутна для проектування, світлофільтри скляні (набір), суміш сухого спирту й сульфату натрію.

При вивченні спектрів поглинання досить важливо показати “обертання” лінії натрію.

Спочатку одержують на екрані чітке зображення суцільного спектра. Потім встановлюють пальник із запаленою сумішшю між щілиною і конденсором проекційного апарату. Світло від конденсора повинно проходити через пофарбоване полум'я (мал. 5). При цьому на екрані з'являється добре видима темна вузька лінія поглинання натрію. Якщо після цього наполовину закрити щілину картонкою, помістивши її знизу між конденсором і полум'ям, то на одній половині екрану буде спостерігатися на темному тлі жовта лінія випромінювання натрію, а на іншій половині - темна лінія поглинання. Лінії переходять одна в одну при не дуже різкій границі між ними. Якщо повністю закрити конденсор, то буде видно лише одну жовту лінію випромінювання натрію.

Для демонстрації спектрів поглинання рідких світлофільтрів, варто заздалегідь приготувати водні розчини марганцевокислого



Мал. 5

калію або мідного купоросу. Ці розчини зберігають у колбах. Перед демонстрацією необхідний розчин наливають у кювету, яку встановлюють у рейтер проекційного апарату між щілиною й об'єктивом.

Так само демонструють на екрані спектри поглинання твердих тіл – світлофільтрів. При цьому на екрані буде видно не окремі лінії, а цілі смуги поглинання.

Завдання III. Виконати лабораторну роботу, додержуючись методичних вимог щодо оформлення її письмового звіту:

Лабораторний практикум. Лабораторна робота №6

“Проведення якісного спектрального аналізу речовини”

Мета роботи: Ознайомитися з методом якісного спектрального аналізу.

Обладнання: спектроскоп двотрубний з відліковим мікрометричним гвинтом, трубки спектральні, прилад для засвічування спектральних трубок "Спектр", джерело електроживлення, дротина із жмутком вати на підставці, колба із спиртом, сіль кухонна.

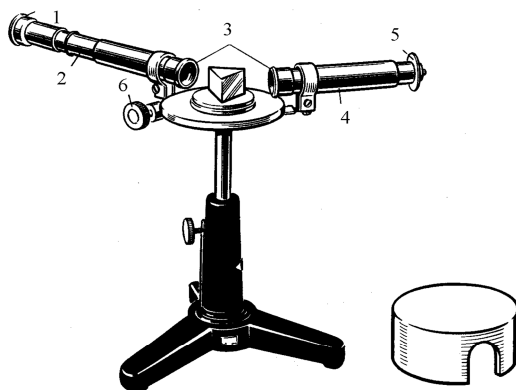


Рис. 6.1

Теоретичні відомості:

Цю роботу виконують за допомогою спектроскопа, зображеного на рис. 6.1, де 1 - окуляр; 2 - зорова труба, 3 - об'єктиви, 4 - коліматор, 5 - щілина, 6 - мікрометричний гвинт. Схему спектроскопа і хід променів у ньому показано на рис. 6.2.

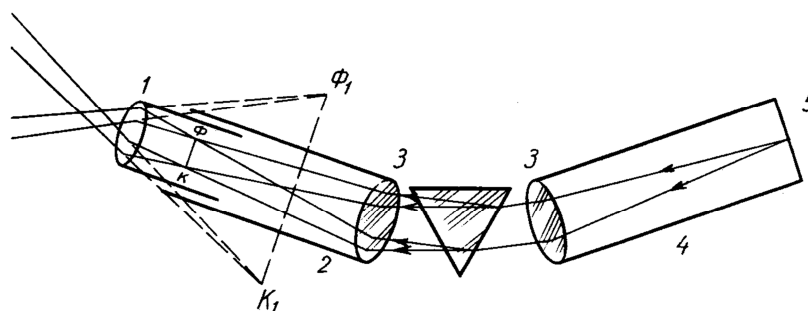


Рис.6.2

Розбіжний світловий пучок, який іде від джерела світла, розміщеного поблизу щілини коліматора, проходить крізь щілину в головному фокусі лінзи (об'єктива коліматора) і після лінзи паралельним пучком падає на грань скляної призми.

У призмі цей пучок відхиляється до основи і розкладається на складові кольорові пучки, оскільки різним частотам відповідають різні кути заломлення. Після виходу із призми ці пучки ще раз відхиляються до основи призми та йдуть в об'єктив зорової труби.

Пройшовши об'єктив, кожний пучок одноколірних променів утворює у фокальній площині об'єктива дійсне кольорове зображення щілини коліматора. З безлічі таких зображень утворюється спектр, червона ділянка якого лежить у напрямі до вершини призми, а фіолетова - до основи.

Зорову трубу на певній лінії спектра фіксують за допомогою тонкої вертикальної нитки, яку натягнуто всередині труби в тій самій площині, де утворюється спектр. Розглядаючи дійсне зображення спектра (і нитки) через окуляр, як через лупу, видно тільки частину спектра. Щоб розглянути окремі частини спектра, зорову трубу треба повертати, користуючись мікрометричним гвинтом, будова якого подібна до будови мікрометра.

Щоб можна було за розміщенням ліній у спектрі визначити в джерелі випромінювання наявність тих чи інших хімічних елементів, спектроскоп треба проградувати. Для цього спостерігають вже відомий спектр якого-небудь світлого газу. Довжину хвилі, яка відповідає кожній із спостережуваних ліній, беруть із довідника. Потім суміщають нитку зорової труби з кожною із спектральних ліній, знімають покази відлікового пристрою і будують криву. Для цього на вертикальній осі відкладають відомі довжини хвиль, а на горизонтальній — покази мікрометра, які їм відповідають (зняті під час досліду).

Після градування, спостерігаючи лінійчастий спектр невідомої речовини, на побудовану криву наносять покази мікрометра. Користуючись такою кривою, для кожної нової спектральної лінії можна визначити довжину хвилі, а потім з довідника можна дізнатися, спектру якого елемента належать ці лінії.

Хід роботи.

Завдання 1. Градування спектроскопа:

1. Ознайомтеся з будовою спектроскопа (рис.6.1).
2. Вставте трубку з гелієм у тримач приладу для засвічування спектральних трубок і приєднайте прилад через вимикач до джерела постійного струму напругою близько 6 В. Щілину коліматора підведіть впритул до спектральної трубки й увімкніть струм.
3. Спостерігаючи через окуляр зорової труби, обертайте мікрометричний гвинт, щоб поступово побачити всі спектральні лінії ртуті. Переміщенням окуляра добийтеся різкого їх зображення.
4. Мікрометричним гвинтом поверніть зорову трубу вправо так, щоб у полі зору з'явилася крайня червона спектральна лінія. Сумістіть зображення вертикальної нитки з цією лінією і запишіть покази мікрометра в таблицю. Мікрометричний гвинт має крок 1 мм, а головку його поділено на 50 рівних частин - отже, ціна поділки на головці - 0,02 мм. Цілі міліметри відлічуйте за нерухомою шкалою на циліндрі, а соті частки — за шкалою на головці гвинта.

Колір лінії	Покази мікрометра, мм	Довжина хвилі за довідником, нм
Червона		728
Червона		668
Жовта		588
Зелена		502

Зелена		492
Голуба		471
Синя		447

5. Обертаючи мікрометричний гвинт, пересувайте зорову трубу до суміщення нитки з кожною з наступних спектральних ліній. Для кожної лінії зніміть покази мікрометра і запишіть їх у таблицю проти зазначених довжин хвиль гелію, взятих з довідника.
6. За записами показів мікрометричного гвинта і довжинами хвиль, які відповідають цим показам, побудуйте криву. Для цього на осі абсцис відкладіть покази мікрометра, а на осі ординат — довжину світлових хвиль, взявши відповідний масштаб. Через знайдені точки проведіть плавну криву.

Завдання 2. Вимірювання довжини хвиль, які відповідають спектральним лініям пари різних газів, за побудованою кривою:

1. Змочіть вату на дротині і закріпіть її за допомогою підставки на висоті щілини коліматора. Запаліть вату і спостерігайте слабкий суцільний спектр. Осипте вату, на якій горить спирт, дрібною кухонною сіллю і спостерігайте появу на фоні суцільного спектра яскравої жовтої лінії пари натрію. Сумістіть з нею нитку і запишіть покази мікрометричного гвинта. Користуючись побудованою кривою, визначте довжину хвилі жовтої лінії натрію. Для цього на осі абсцис відкладіть показ мікрометричного гвинта, з цієї точки опустіть перпендикуляр і продовжить його до перетину з побудованою кривою. Опустіть з точки перетину перпендикуляр на вісь ординат і знайдіть відповідне значення довжини хвилі.
2. Трубку з гелієм у приладі для засвічування спектральних трубок замініть трубкою з іншим газом (Kr, H) і описаним вище способом виміряйте довжини хвиль деяких спектральних ліній, запропонованих учителем.
3. За результатами досліджень зробіть висновок.

Лабораторна робота №35

Квантова механіка

Мета: оволодіти методикою й технікою проведення демонстрацій з теми: "Квантова механіка".

Завдання I: Опрацювати відповідний навчальний матеріал за шкільними та вузівськими підручниками.

Завдання II: Набути вмінь і навичок у виконанні таких демонстрацій:

1. Зовнішній фотоефект

Обладнання: ультрафіолетовий освітлювач „Фотон”, підставка освітлювача, електрометр, секундомір, цинкова і мідна пластинки, ебонітова і скляна палички, хутро, або шкіра, скло, оптична лава універсальний штатив.

Ультрафіолетовий освітлювач „Фотон” за допомогою підставки встановлюють на рейтері оптичної лави або універсальному штативі. На відстані 40 см від освітлювача розміщують електрометр (мал. 1). На його стержні закріплюють цинкову пластинку, попередньо з однієї сторони зачищену до блиску. Пластину повертають зачищеною стороною до освітлювача і заряджають негативно від ебонітової палички. Тоді вмикають ультрафіолетовий освітлювач „Фотон” і освітлюють цинкову пластину. При цьому спостерігають поступову втрату цинковою пластинкою негативного заряду. Звертають увагу на те, що розряд електрометра починається одразу ж після освітлення пластинки і одразу ж припиняється, якщо світло лампи припиняється.

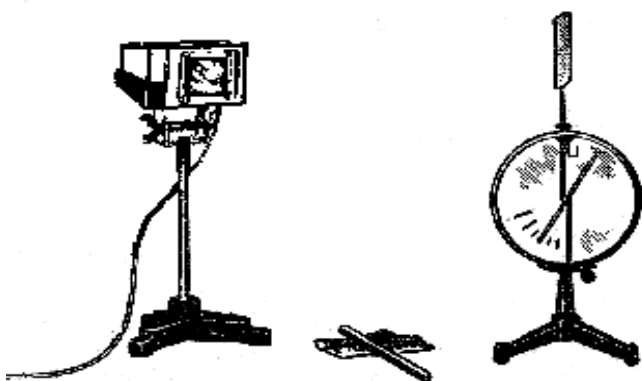
Далі заряджають цинкову пластину позитивним зарядом (від скляної палички) і також освітлюють ультрафіолетовими променями. Стрілка електрометра залишається нерухомою навіть при тривалому опроміненні.

Світло не може вибити із цинку позитивні заряди, а електрони з позитивної пластини не вибиваються тому, що вони утримуються електричним полем позитивного заряду.

Тоді освітлюють незаряджену пластинку. Фотоефект, який почався на ній у перший момент дуже швидко припиняється, тому що, втративши частину електронів, пластинка виявляється зарядженою позитивно, а електрони утримуються полем позитивного заряду. Цей заряд дуже малий і шкільний електрометр не виявляється.

Якщо до цинкової пластинки поступово наближати позитивно заряджену скляну паличку, стрілка електрометра все більше відхиляється від нульової поділки шкали і не повертається до неї після віддалення палички. Дослідження показує, що заряд, який залишився на пластинці, є позитивним. Це означає, що цинк під дією падаючих на нього променів втрачає електрони. Цей процес продовжувався увесь час, оскільки електричне поле позитивно зарядженої палички допомогло видалити з пластини негативний заряд, що і призвело до накопичення на електрометрі значного позитивного заряду, який уже можна виявити.

Ці досліди переконують учнів у тому, що причиною виходу зарядів з цинкової пластини є світло і що під дією його квантів з неї вибиваються тільки негативні заряди – електрони.



Мал. 1

Учням пояснюють, що практично миттєве виникнення фотоефекту не можна пояснити з погляду хвильових уявлень про світло, згідно з якими, між початком опромінення і моментом вильоту електрона повинний пройти деякий час, зв'язаний з поступовим накопиченням електроном енергії, за рахунок поглинання

падаючих хвиль.

Безінерційність фотоефекта доводить квантову природу світла. Електрон, одержавши при сприятливих умовах енергію окремого кванта, відразу залишає поверхню речовини.

3. Дослід Столетова.

Обладнання: цинкова пластина із сіткою в корпусі, освітлювач ультрафіолетовий „Фотон”, джерело живлення ВУП 2, оптична лава або універсальні штативи, підсилювач електронний

до гальванометра (навчальний), гальванометр демонстраційний М1032.

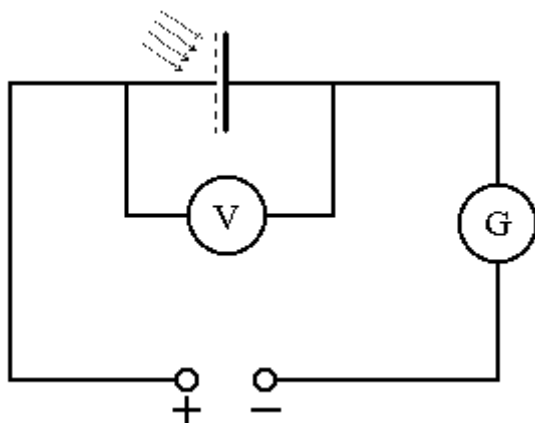
З'єднують прилади за схемою, показаною на мал. 3.

Освітлювач „Фотон” розташовують на одному рівні із сіткою на відстані 10-15 см. Включають універсальний випрямляч і подають на установку постійну напругу. Перевіряють положення світлового показчика, при необхідності, поворотом ручки установки нуля підсилювача, повертають його на нульову позначку шкали. Потім включають освітлювач „Фотон” і спостерігають за показами гальванометра. Для доказу того, що струм у колі виникає в результаті виривання електронів з поверхні цинкової пластини, при її опроміненні ультрафіолетовим світлом, а не іонізацією повітря між цинковою пластинкою і сіткою, варто повторити дослід, змінюючи полярність джерела струму. Досліди показують, що струм у колі виникає тільки в тому випадку, коли сітка приєднана до позитивного полюса джерела струму.

Якщо між освітлювачем і цинковою пластинкою із сіткою помістити скло, то струм в колі зникає, тобто фотоефект зникає. Цей дослід показує існування червоної межі фотоефекту.

4. Основні закони зовнішнього фотоефекта

Обладнання: фотоелемент на підставці, гальванометр демонстраційний від амперметра, вольтметр демонстраційний, випрямляч універсальний ВУП, апарат проєкційний, реостат опором 600 Ом, метр демонстраційний, штатив універсальний.



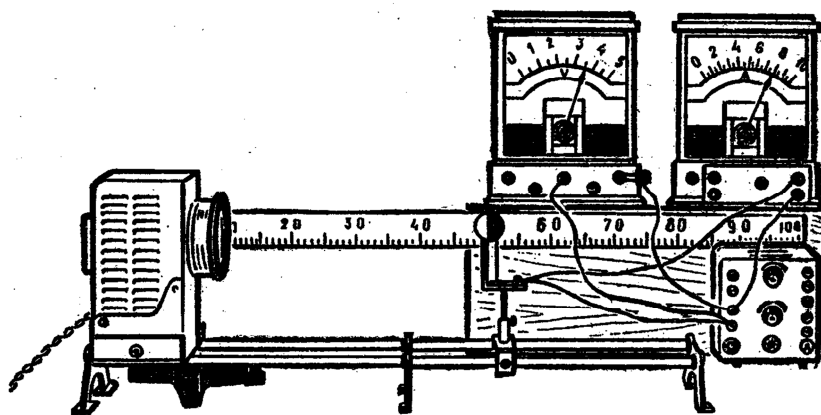
Мал. 3

Для демонстрації законів фотоефекта збирають установку згідно мал. 4. З проєкційного апарата знімають конденсор. За проєкційним апаратом горизонтально встановлюють демонстраційний метр так, щоб його початок був проти нитки розжарення лампи. У рейтер закріплюють вакуумний фотоелемент на підставці, вмикають в електричне коло за схемою, показаною на мал. 5.

Регульовану постійну напругу беруть від універсального випрямляча (клеми 0 ± 100) і контролюють демонстраційним вольтметром. Коротко пояснюють зібрану установку і у напівзатемненому класі приступають до демонстрації дослідів:

1. Фотоелемент встановлюють на відстані приблизно 40 см від лампи і при незмінному світловому потоці поступово збільшують напругу на його електродах. Струм спочатку збільшується пропорційно прикладеній напрузі, а потім досягає деякого постійного значення (струм насичення).

Учням пояснюють, що струм насичення виникає в той момент,



коли всі електрони, які вилітають з катода, доходять до анода. Подальше збільшення струму може бути досягнуто лише при збільшенні світлового потоку. Наближають фотоелемент до лампи і переконуються в цьому.

2. Фотоелемент повертають у попереднє положення, і при незмінній напрузі на електродах, відмічають на гальванометрі величину струму насичення. Потім світловий потік, що падає на фотоелемент, зменшують у чотири рази (збільшують відстань між

фотоелементом і лампою у два рази), при цьому струм зменшується в чотири рази.

Отже, сила струму, зумовлена числом електронів, які вилітають за одиницю часу, прямо пропорційна падаючому світловому потоку (закон Столетова).

Завдання III. Виконати лабораторну роботу, додержуючись методичних вимог щодо оформлення її письмового звіту:

Вимірювання роботи виходу електронів у вакуумному фотоелементі

Обладнання: фотоелемент на підставці, гальванометр демонстраційний від амперметра, підсилювач до гальванометра, вольтметр демонстраційний, випрямляч універсальний ВУП, електрична лампочка розжарення на підставці, з'єднувальні провідники.

Якщо фотоелемент освітлювати, то з катода вириваються електрони і створюють струм у колі фотоелемента. Джерело постійної напруги ввімкнемо послідовно з фотоелементом, позитивний полюс якого з'єднано з катодом, а негативний – з анодом. За такого вмикання електричне поле між катодом і анодом перешкоджає руху електронів у бік анода. Якщо робота подолання затримуючого потенціалу дорівнює кінетичній енергії найшвидших електронів, які вириваються з катода внаслідок фотоэффекту:

$$eU = \frac{mv_{max}^2}{2}, \quad (1)$$

то сила струму в колі фотоелемента дорівнюватиме нулю.

Виходячи з рівняння Ейнштейна:

$$h\nu = A + \frac{mv_{max}^2}{2}, \quad (2)$$

і умови запирання фотоструму, можна записати:

$$h\nu = A + eU. \quad (3)$$

З виразу (3) випливає, що, знаючи частоту світла ν і напругу запирання струму в колі фотоелемента U , можна виміряти роботу виходу електронів A з катода фотоелемента:

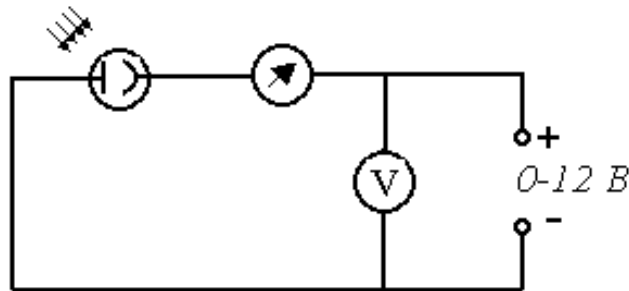
$$A = h\nu - eU. \quad (4)$$

Щоб виділити із суцільного спектра випромінювання з певною частотою ν використовують синій світлофільтр з оптичного скла, який пропускає світло з довжиною хвилі до 420 нм.

Електричну схему установки зображено на мал. 8.

Послідовність виконання роботи:

1. Підготуйте лабораторну установку до вимірювань. Зверніть увагу, що позитивний полюс джерела напруги має бути з'єднаний з катодом фотоелемента.
2. Вставте у віконце перед фотоелементом синій світлофільтр і освітіть фотоелемент. Плавнo збільшуючи напругу, яка подається на фотоелемент, зафіксуйте таке її значення U , за якого фотострум в колі запирається, тобто сила струму через гальванометр дорівнюватиме нулю.
3. За відомими значеннями частоти світла, яке пропускає світлофільтр, і вимірним значенням напруги запирання фотоструму обчисліть роботу виходу електрона з катода фотоелемента.



Мал. 8

Список літератури **до лабораторного практикуму з методики і техніки шкільного** **фізичного експерименту**

1. Анцферов Л.И., Пищиков И.М. Практикум по методике и технике школьного физического эксперимента. – М.: Просвещение, 1984. – 225 с.
2. Демонстрационный эксперимент по физике в средней школе: Пособие для учителей. /Под ред. А.А. Покровского. Ч.1. Механика, молекулярная физика, основы электродинамики. – М.: Просвещение, 1973. – 351 с.
3. Демонстрационный эксперимент по физике в средней школе: Пособие для учителей. /Под ред. А.А. Покровского. Ч.2. Колебания и волны. Оптика. Физика атома. – М.: Просвещение, 1979. – 287 с.
4. Демонстрационные опыты по физике в 6-7 классах средней школы. /Под ред. А.А. Покровского. – М.: Просвещение, 1974. – 272 с.
5. Коршак Є.В., Миргородський Б.Ю. Методика і техніка шкільного фізичного експерименту: Практикум. – К.: Вища школа, 1981. – 280 с.
6. Марголис А.А. и др. Практикум по школьному физическому эксперименту: Учеб. пособие для студентов физ.-мат. фак. пед. ин-тов. – 3-е изд., перераб. – М.: Просвещение, 1977. – 304 с.
7. Миргородський Б.Ю., Шабаль В.К. Демонстраційний експеримент з фізики: Механіка: Посібник для вчителів. – К.: Рад. школа, 1980. – 140 с.
8. Миргородський Б.Ю., Шабаль В.К. Демонстраційний експеримент з фізики: Молек. фізика: Посібник для вчителів. – К.: Рад. школа, 1982. – 140 с.
9. Мисечко Є.М. Навчальний фізичний експеримент в школі: Посібник для студентів і вчителів. – Житомир, 1995. – 117 с.
10. Гайдучок Г.М., Нижник В.Г. Фронтальний експеримент з фізики в 7-11 класах середньої школи: Посібник для вчителя. – К: Рад. школа, 1989. – 175 с.
11. В.А. Буров и др. Практикум по физике в средней школе: Дидакт. материал. /Под ред. А.А. Покровского. 2-е изд. – М: Просвещение, 1982. – 192 с.

12. Практикум з фізики в середній школі: Дидакт. матеріал: Посібник для вчителя /За ред. В.О. Бурова, Ю.І. Діка. – К.: Рад. школа, 1990. – 176 с.
13. Миргородський Б.Ю., Шабаль В.К. Демонстраційний експеримент з фізики. Електродинаміка: Посібник для вчителів. – К.: Радянська школа, 1983. – 176 с.
14. Миргородський Б.Ю., Шабаль В.К. Демонстраційний експеримент з фізики. Коливання і хвилі: Посібник для вчителів. – К.: Радянська школа, 1985. – 168 с.
15. Фронтальные лабораторные занятия по физике в средней школе: Пособие для учителей. /Под ред. А.А. Покровского. 2-е изд., перераб. – М.: Просвещение, 1974. – 208 с.
16. Чепуренко В.Г., Нижник В.Г., Гайдучок Г.М. Лабораторні роботи з фізики у 8-10 класах: Посібник для вчителів. – К.: Радянська школа, 1976. – 248 с.
17. Шульга М.С. Методика і техніка демонстраційних дослідів з фізики у 6 і 7 класах: Посібник для вчителів. – К.: Рад. школа, 1977. – 192 с.
18. Абдурахманов С.Д. Исследовательские работы по физике в 7-8 классах сельских школ: Книга для учителя. – М.: Просвещение, 1990. – 112 с.
19. Буров В.А. и др. Фронтальные экспериментальные задания по физике в 6-7 классах средней школы: Пособие для учителей. – М.: Просвещение, 1981. – 112 с.
20. Буров В.А. и др. Фронтальные экспериментальные задания по физике, 8 класс: Пособие для учителя. – М.: Просвещение, 1985. – 64 с.
21. Грабовский М.А. и др. Лекционные демонстрации по физике. /Под ред. В.И. Ивероновой. – М.: Наука, 1965. – 572 с.
22. Клос С.С. та ін. Лабораторний практикум з фізики. – Львів: Університет, 1973. – 168 с.
23. Клос С.С. та ін. Фізика: Практикум. – Львів: Вища школа, 1989. – 192 с.
24. Коршак Є.В. Коливання і хвилі. – К.: Рад. школа, 1974. – 120 с.
25. Сергеев А.В. Наблюдения учащихся при изучении физики на первой ступени обучения: Пособие для учителей. – К.: Рад. школа, 1987. – 152 с.

26. Сергеев А.В. Наблюдения учащихся при изучении физики на второй ступени обучения: Пособий для учителей. – К.: Рад. школа, 1988. – 176 с.

27. Терентьев М.М. Демонстрационный эксперимент по физике в проблемном обучении: Пособие для учителей. – М.: Просвещение, 1978. – 104 с.

28. Учебное оборудование по физике в средней школе: Пособие для учителей. /Под ред. А.А. Покровского. – М.: Просвещение, 1973. – 480 с.

29. Хорошавин С.А. Техника и технология демонстрационного эксперимента: Пособие для учителей. – М.: Просвещение, 1978. – 174 с.

30. Хорошавин С.А. Физический эксперимент в средней школе: 6-7 классы. – М.: Просвещение, 1988. – 175 с.

31. Ціліко М.Г. Виготовлення і використання модульної системи електронних вимірювальних приладів у навчальному експерименті з фізики: Методичні рекомендації. – Житомир: ЖДПІ, 1988. – 56 с.

32. Шамало Т.Н. Учебный эксперимент в процессе формирования физических понятий: Книга для учителя. – М.: Просвещение, 1986. – 96 с.

33. Шахмаев Н.М., Каменецкий С.Е. Демонстрационные опыты по электродинамике: Пособие для учителей. – М.: Просвещение, 1973. – 352 с.

34. Шахмаев Н.М., Шилов В.Ф. Физический эксперимент в средней школе. – М.: Просвещение, 1989. – 255 с.

35. Шахмаев Н.М., Павлов Н.И., Тыщук В.И. Физический эксперимент в средней школе: Колебания и волны. Квантовая физика. – М.: Просвещение, 1991. – 223 с.

36. Шилов В.Ф. Техника безопасности в кабинете физики: Пособие для учителей. – М.: Просвещение, 1979. – 80 с.

37. Шульга М.С. Молекулярна фізика і термодинаміка в демонстраційних дослідах. – Ж.: Рад. школа, 1974. – 176 с.

